

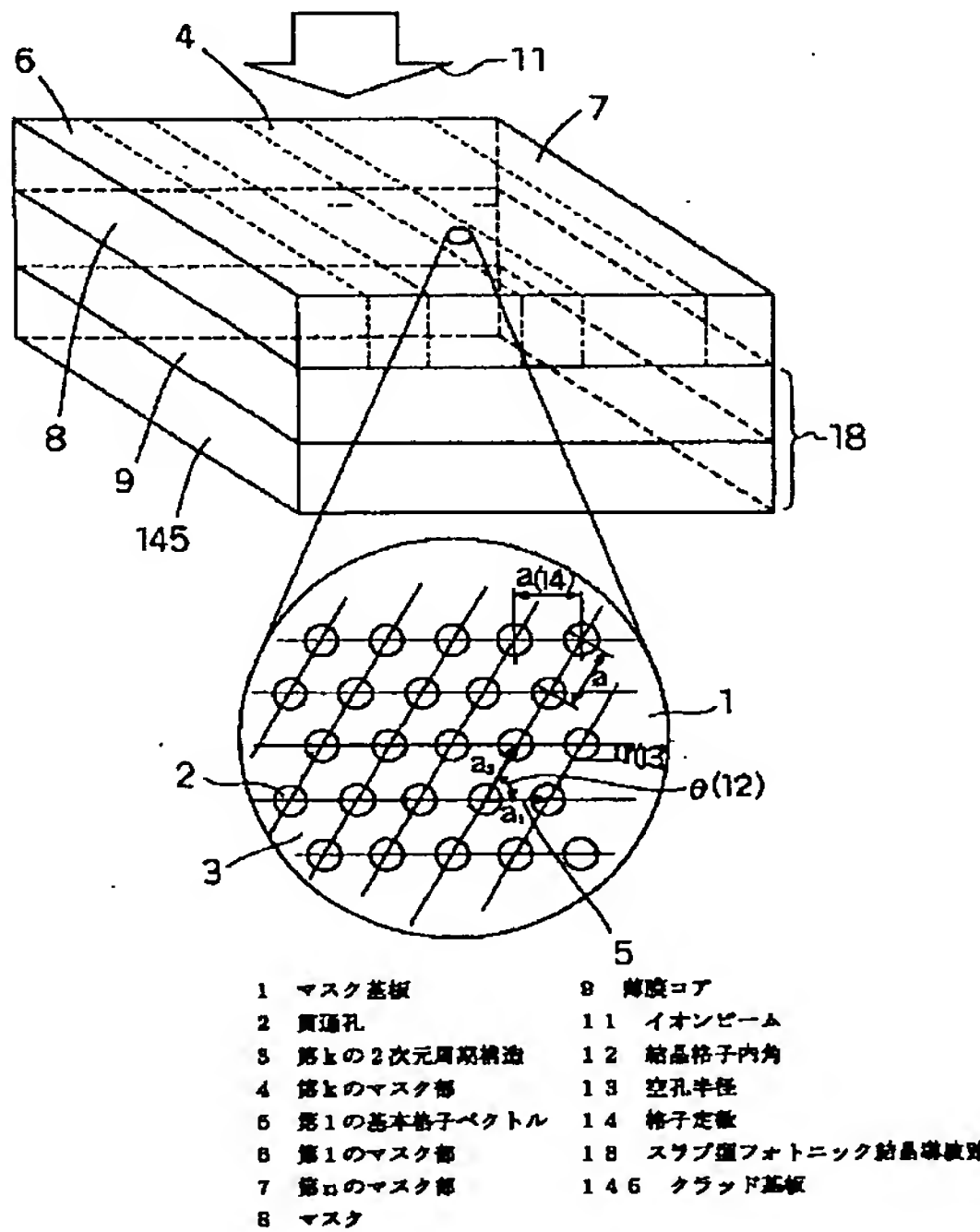
(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
G 0 2 B 6/12	Z N M	G 0 2 B 1/02	2 H 0 4 7
		5/18	2 H 0 4 9
1/02		6/12	Z N M Z
5/18			N

審査請求 未請求 請求項の数30 O L (全 17 頁)

(21)出願番号	特願2002-361010(P2002-361010)	(71)出願人	000005821 松下電器産業株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(22)出願日	平成14年12月12日 (2002. 12. 12)	(72)発明者	浜田 英伸 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2001-380010(P2001-380010)	(74)代理人	100092794 弁理士 松田 正道
(32)優先日	平成13年12月13日 (2001. 12. 13)	Fターム(参考)	2H047 KA02 PA22 2H049 AA16 AA44 AA62 AA64 AA68
(33)優先権主張国	日本 (J P)		

(54)【発明の名称】 フォトニック結晶の作製方法、マスク、マスク作製方法、及び光デバイス作製方法

(57)【要約】  
【課題】 従来の単一周期を有するフォトニック結晶では各波長のフォトニック結晶を光軸上あるいは光導波路を中継して縦列に接続しなければならなかった。  
【解決手段】 フォトニック結晶の作製対象となる薄膜コア9を提供する第1ステップと、各領域毎に予め定められた周期構造に基づいて配列された貫通孔2と、その貫通孔2を保持するマスク基板1とを有するマスク8に対してイオンビーム11の照射を行う第2ステップとを備えたフォトニック結晶の作製方法であって、マスク8は、第2ステップでビーム11が照射される場合、ビーム11が貫通孔2のみを実質上通過する様に構成されており、前記配列の方向は前記フォトニック結晶の基本格子ベクトルの方向に対応し、前記各領域における少なくとも一つの基本格子ベクトルの方向に対応する方向が全ての領域について一致する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 フォトニック結晶の作製対象となる所定の膜を提供する第 1 ステップと、  
各領域毎に予め定められた周期構造に基づいて配列された通過部と、前記通過部を保持するマスク基板とを有するマスクに対して所定粒子の照射又は電磁波の照射を行う第 2 ステップと、を備えたフォトニック結晶の作製方法であって、

前記マスクは、(a) 前記第 2 ステップで前記粒子が照射される場合、前記粒子が前記通過部のみを実質上通過する様に構成されているか、又は、(b) 前記第 2 ステップで、前記電磁波が照射される場合、前記周期構造に基づく回折効果により前記膜上にエネルギー密度の差が生じる様に構成されており、  
前記配列の方向は、前記フォトニック結晶の基本格子ベクトルの方向に対応しており、  
前記各領域における少なくとも一つの前記基本格子ベクトルの方向に対応する方向が、全ての前記領域について一致するフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 2】 前記通過部は、前記各領域毎に、周期、大きさ、形状の内少なくとも何れか一つが異なる空孔で構成されている請求項 1 記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 3】 前記膜は、光導波路用の薄膜であり、  
前記第 2 のステップは、前記粒子として荷電粒子を使用するステップであり、  
前記第 2 のステップでは、前記通過部を通過した前記通過荷電粒子を、前記薄膜に注入することにより、前記周期構造を転写する請求項 1 記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 4】 前記第 2 のステップは、前記電磁波の照射を行うステップであり、  
前記膜は、光導波路用の薄膜であり、  
前記通過部の屈折率が、前記マスク基板の屈折率と異なるものであり、  
前記エネルギー密度の差が、前記エネルギー密度の強弱の分布として生じることにより前記薄膜に前記周期構造を転写する請求項 1 記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 5】 前記各領域における前記配列は、前記膜に対して作製されるべき前記フォトニック結晶の 2 次元基本格子ベクトルに対応する 2 次元配列であり、且つその配列の 2 方向のなす角度の内、一方の角度が  $60 \sim 90^\circ$  であり、  
前記通過部は、前記各領域毎に、格子定数、大きさ、及び形状の内少なくとも何れか一つが異なる請求項 1 記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 6】 前記膜は、光導波路膜であり、  
前記マスクと前記光導波路膜との間隔を一定に維持し、  
且つ、前記マスクの一部と前記導波路膜の一部とが露出

する窓を有するスペーサーを、前記マスクと前記導波路膜の間に挟み込む第 3 ステップを備えた請求項 1 記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 7】 前記スペーサーと前記マスクを一体化し、前記一体化されたスペーサーの移動により前記マスク構造を複数の前記光導波路膜に次々と転写する構成を有する請求項 6 に記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 8】 前記光導波路膜の光導波方向の長さが、前記マスクの窓の長さよりも短く、前記光導波路膜の面内において前記光導波方向に対して垂直な方向の前記光導波路膜の幅が、前記マスクの窓の幅よりも長い構成を有する請求項 6 に記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 9】 前記各通過部の断面の大きさが、前記荷電粒子が複数個通過できるものであり、前記通過部の前記大きさが、前記光導波路膜に形成すべき周期構造を構成する、前記光導波路膜の本体と異なる屈折率となるべき部分の断面の大きさよりも小さい請求項 3 に記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 10】 前記通過部の前記断面の大きさが前記光導波路膜に形成すべき周期構造を構成する、前記光導波路膜の本体と異なる屈折率を有する部分の大きさの  $1/4$  以上である請求項 9 に記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 11】 前記光導波路膜に荷電粒子を注入後、前記光導波路膜をアルカリ水溶液に浸漬するステップを有し、  
前記荷電粒子注入部分のアルカリ水溶液による物質変化後の前記周期構造を構成する前記各部分の大きさが、前記光導波路膜に形成すべき前記周期構造を構成する各部分の大きさに実質上到達するまで前記アルカリ水溶液に浸漬する請求項 10 に記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 12】 複合周期構造を有する前記マスクの前記各周期構造の格子定数が前記各周期構造に固有の波長の  $0.4 \sim 0.6$  倍の大きさである請求項 1 記載のフォトニック結晶の作製方法。

【請求項 13】 光軸方向に少なくともひとつのスルー構造の V 溝を有する基板と、  
前記基板の V 溝を有する面に接するように配置されたフォトニック結晶を含む光導波路膜と、  
前記導波路膜の入射側と出射側の内、光軸を含む前記基板と平行な面内において前記 V 溝により前記入射側に固定される少なくともひとつの入射側光ファイバーと、  
前記出射側に固定される少なくともひとつの出射側光ファイバーとを用いて光デバイスを作製する光デバイス作製方法であって、

前記フォトニック結晶は、各領域毎に予め定められた周期構造に基づいて配列された通過部と、前記通過部を保持するマスク基板とを有するマスクに対して所定粒子の照射又は電磁波の照射を行うことにより作製されたもの

であり、

前記配列の方向は、前記フォトニック結晶の基本格子ベクトルの方向に対応しており、

前記各領域における少なくとも一つの前記基本格子ベクトルの方向に対応する方向が、全ての前記領域について一致する光デバイス作製方法。

【請求項14】 前記V溝の間隔は、前記フォトニック結晶の前記領域の長さに比例して決められる請求項13記載の光デバイス作製方法。

【請求項15】 前記フォトニック結晶の格子定数が2次元フォトニック結晶に固有の波長の0.4～0.6倍の大きさである請求項13又は14に記載の光デバイス作製方法。

【請求項16】 前記フォトニック結晶は、前記光導波路膜を構成する薄膜コア部分からクラッド基板にわたって形成された空孔であって、且つ2次元周期的に配列した空孔から構成される請求項15に記載の光デバイス作製方法。

【請求項17】 各領域毎に予め定められた周期構造に基づいて配列された通過部と、  
前記通過部を保持するマスク基板とを備え、

(a) 所定の粒子が照射される場合、前記粒子が前記通過部のみを実質上通過する様に構成されているか、又は、(b) 電磁波が照射される場合、前記周期構造に基づく回折効果により所定の膜上にエネルギー密度の差が生じる様に構成されており、  
前記予め定められた周期構造が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスク。

【請求項18】 前記各領域における前記通過部の前記配列は、2次元周期構造に基づいた配列であり、  
前記配列の方向は、所定の膜に対して前記マスクを用いて作製されるべきフォトニック結晶の2次元基本格子ベクトルの2つの方向に対応しており、  
前記各領域における少なくとも一つの前記基本格子ベクトルの方向に対応する方向が、全ての前記領域について一致する請求項17記載のマスク。

【請求項19】 前記通過部は、前記各領域毎に、周期、大きさ、形状の内少なくとも何れか一つが異なる請求項18記載のマスク。

【請求項20】 前記粒子は荷電粒子であり、前記通過部は前記荷電粒子が通過可能な貫通孔である請求項17記載のマスク。

【請求項21】 前記マスク基板には電磁波が照射されるものであり、  
前記通過部の屈折率が、前記マスク基板の屈折率と異なる請求項17記載のマスク。

【請求項22】 所定の屈折率を有するマスク基板を提供する(a)ステップと、  
前記マスク基板上的複数の位置にイオンを注入し、又は、回折波の干渉によりエネルギー密度の差が前記マ

スク基板上的複数の位置で生じる様に電磁波を照射することにより、前記位置における前記マスク基板の屈折率を変化させる(b)ステップとを備え、

前記位置は、前記マスク基板上的各領域毎に予め定められた基準に基づいて決定されており、

前記予め定められた基準が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスク作製方法。

【請求項23】 所定の屈折率を有するマスク基板を提供する(a)ステップと、

前記マスク基板に対して、複数の位置に貫通孔を形成する(b)ステップと、

前記貫通孔に前記マスク基板の前記屈折率と異なる屈折率の部材を充填する(c)ステップとを備え、

前記貫通孔の位置は、前記マスク基板上的各領域毎に予め定められた基準に基づいて決定されており、

前記予め定められた基準が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスク作製方法。

20 【請求項24】 所定の粒子の通過を実質上制限するためのマスク基板を提供する(a)ステップと、

前記マスク基板に対して、複数の位置にイオンビーム又は電子ビームによりドライエッチングを施して、複数の貫通孔を形成する(b)ステップとを備え、

前記位置は、前記マスク基板上的各領域毎に予め定められた基準に基づいて決定されており、

前記予め定められた基準が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスク作製方法。

30 【請求項25】 所定の粒子の通過を実質上制限するためのマスク基板を提供する(a)ステップと、

前記マスク基板に対して、複数の位置に突起部を有する型手段を用いて、凹部又は貫通孔を形成する(b)ステップとを備え、

前記位置は、前記マスク基板上的各領域毎に予め定められた基準に基づいて決定されており、

前記予め定められた基準が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスク作製方法。

40 【請求項26】 前記(b)ステップは、前記マスク基板に対して、前記凹部を形成するためのステップであり、

前記凹部に対して陽極酸化を施すことにより、貫通孔を得る(c)ステップを備えた請求項25記載のマスク作製方法。

【請求項27】 前記突起部は、前記マスク基板の各領域に対応した各周期構造を有しており、

前記周期構造は2次元基本格子ベクトルに基づく2次元配列であり、且つ、前記2つの基本ベクトルのなす角度

50 の内、一方の角度が60～90°であり、



前記突起部は、前記各周期構造毎に、格子定数、大きさ、及び形状の内、少なくとも何れか一つが異なる請求項25記載のマスク作製方法。

【請求項28】 前記各周期構造の前記格子定数が、前記各周期構造に固有の波長の0.4～0.6倍の大きさである請求項27記載のマスク作製方法。

【請求項29】 光軸方向に少なくともひとつのV溝を有する基板と、  
前記基板のV溝を有する面に接するように配置されたフォトニック結晶膜を含む光導波路膜と、  
前記導波路膜の入射側と出射側の内、光軸を含む前記基板と平行な面内において前記V溝により前記入射側に固定される少なくともひとつの入射側光ファイバーと、  
前記出射側に固定される少なくともひとつの出射側光ファイバーとを備えた光デバイスであって、  
前記フォトニック結晶膜には、各領域毎に予め定められた周期的な配列に基づいて屈折率の異なる部位が存在しており、且つ、前記周期的な配列の内、少なくとも一つの配列の方向が、全ての前記領域において前記光軸方向に一致している光デバイス。

【請求項30】 第1の屈折率を有するフォトニック結晶膜本体と、  
前記フォトニック結晶膜本体の各領域毎に予め定められた周期的な配列に基づいて存在する、前記第1の屈折率と異なる屈折率の部位とを備えたフォトニック結晶膜であって、  
前記周期的な配列の内、少なくとも一つの配列の方向が、全ての前記領域において光軸方向に一致しているフォトニック結晶膜。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信の光分岐器やWDM送受信モジュールなどに使用されるフォトニック結晶膜、フォトニック結晶の作製方法、マスク、マスク作製方法、光デバイス、及び光デバイス作製方法に関する。

【0002】

【従来の技術】まず、従来例のフォトニック結晶である単一周周期構造を作製する単一周周期構造のモールドを使用した作製方法を図10に示す（例えば、特許文献1参照。）。

【0003】基板101の表面にモールド102によりプレスして凸凹パターンを有する基板をシュウ酸中で陽極酸化することにより、基板は周期的ナノホール構造104を有する金属酸化物薄膜105となる。

【0004】このように、単一周周期構造を有するモールドのプレスにより対象物に単一周周期構造を簡単に転写することができる。

【0005】

【特許文献1】特開2000-258650号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】WDM (Wavelength Division Multiplexer)などでフォトニック結晶の波長分散機能を利用して、特定の波長のみ作用させる場合は、一種類の周期構造を有するフォトニック結晶を一つ用いればよい。しかし、複数種類の波長に対して、選択的に作用させる場合には、波長の種類の数と同数のフォトニック結晶を用いることが必要となる。この場合、フォトニック結晶の周期構造は、基本的には、波長の種類と同数の種類が必要となる。そのため、周期構造の異なるフォトニック結晶の各光軸を全て一致させて、縦列に接続しなければならないという課題があった。尚、光導波路を中継して、複数のフォトニック結晶の接続を行う場合でも光軸あわせは同様に必要である。

【0007】上記従来例のように、ある特定の波長にのみ作用するフォトニック結晶を使用する場合は、各波長対応のフォトニック結晶を光軸をそろえて縦列する必要があり、部品点数の増加と、光軸調整をはじめとする組み立て工数の増加が避けられないという課題があった。

【0008】ところで、特願2001-105447号の明細書及び図面に記載された本願発明者自身の発明である、単一周周期構造を有するフォトニック結晶を作製する方法であって単一周周期構造のマスクを使用したフォトニック結晶の作製方法を図9(a)、図9(b)に示す。

【0009】ガラス基板90上にポリマー薄膜91を形成したスラブ導波路を用意し（図9(a)参照）、上記スラブ導波路のポリマー薄膜91上に、従来のフォトニック結晶構造と同じ単一周周期構造有するマスク92を配置した後、イオンビーム95を注入すると、ポリマー薄膜91上のマスクの窓（貫通孔96）の位置に注入されたイオン94によりトラッキング93が形成される（図9(b)参照）。このトラッキング93は、アルカリ処理で空孔となり、ポリマー薄膜91にマスクと同じ単一周周期構造を有する空孔の周期構造ができる。

【0010】このように、単一周周期構造を有するマスクを使用するとポリマー薄膜に空孔のフォトニック結晶を簡単に実現することができる。また、フォトニック結晶材料としてポリマー以外を使用する場合でも、単一周周期構造を有するマスクを使用する場合は同様である。

【0011】尚、上述した本願発明者が発明したフォトニック結晶の製造方法の場合でも、上記従来例と同様の課題を有している。

【0012】本発明は、従来の特定波長にのみ作用する単一の結晶構造を有するフォトニック結晶の課題を考慮し、例えば、WDM用光フィルターやADD-DROP、2波以上の波長をパワー分離するWDM用分岐器を実現できるフォトニック結晶を応用した光デバイスや、フォトニック結晶の作製方法、マスク、マスク作製方法、及び光デバイス作製方法、光デバイス、及びフォト

ニック結晶膜を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】第1の本発明は、フォトニック結晶の作製対象となる所定の膜(9, 52)を提供する第1ステップと、各領域毎に予め定められた周期構造に基づいて配列された通過部(2, 1301b)と、前記通過部を保持するマスク基板(1, 1301)とを有するマスク(8, 51)に対して所定粒子の照射(図11中の11)又は電磁波の照射(54)を行う第2ステップと、を備えたフォトニック結晶の作製方法であって、前記マスクは、(a)前記第2ステップで前記粒子が照射される場合、前記粒子が前記通過部(2)のみを実質上通過する様に構成されているか、又は、

(b)前記第2ステップで、前記電磁波が照射される場合、前記周期構造に基づく回折効果により前記膜(52)上にエネルギー密度の差が生じる様に構成されており、前記配列の方向(5)は、前記フォトニック結晶の基本格子ベクトルの方向に対応しており、前記各領域における少なくとも一つの前記基本格子ベクトルの方向に対応する方向(5)が、全ての前記領域について一致するフォトニック結晶の作製方法である。

【0014】又、第2の本発明は、前記通過部は、前記各領域毎に、周期、大きさ、形状の内少なくとも何れかが異なる空孔(2, 31)で構成されている上記第1の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0015】又、第3の本発明は、前記膜(9, 20)は、光導波路用の薄膜であり、前記第2のステップは、前記粒子(11)として荷電粒子を使用するステップであり、前記第2のステップでは、前記通過部(2)を通過した前記通過荷電粒子を、前記薄膜(9)に注入することにより、前記周期構造を転写する上記第1の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0016】又、第4の本発明は、前記第2のステップは、前記電磁波(54)の照射を行うステップであり、前記膜(52)は、光導波路用の薄膜であり、前記通過部(1301b, 1401b)の屈折率が、前記マスク基板の屈折率(1301a, 1401a)と異なるものであり、前記エネルギー密度の差が、前記エネルギー密度の強弱の分布として生じることにより前記薄膜に前記周期構造を転写する上記第1の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0017】又、第5の本発明は、前記各領域における前記配列は、前記膜に対して作製されるべき前記フォトニック結晶の2次元基本格子ベクトルに対応する2次元配列であり、且つその配列の2方向( $a_1$ ,  $a_2$ )のなす角度の内、一方の角度( $\theta$ (12))が $60 \sim 90^\circ$ であり、前記通過部は、前記各領域毎に、格子定数、大きさ、及び形状の内少なくとも何れかが異なる上記第1の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0018】又、第6の本発明は、前記膜(20)は、

光導波路膜であり、前記マスク(22)と前記光導波路膜(20)との間隔を一定に維持し、且つ、前記マスクの一部と前記導波路膜の一部とが露出する窓(24)を有するスペーサー(23)を、前記マスクと前記導波路膜の間に挟み込む第3ステップを備えた上記第1の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0019】又、第7の本発明は、前記スペーサーと前記マスクを一体化し、前記一体化されたスペーサーの移動により前記マスク構造を複数の前記光導波路膜に次々と転写する構成を有する上記第6の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0020】又、第8の本発明は、前記光導波路膜の光導波方向の長さが、前記マスクの窓の長さよりも短く、前記光導波路膜の面内において前記光導波方向に対して垂直な方向の前記光導波路膜の幅が、前記マスクの窓の幅よりも長い構成を有する上記第6の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0021】又、第9の本発明は、前記各通過部の断面の大きさが、前記荷電粒子が複数個通過できるものであり、前記通過部の前記大きさが、前記光導波路膜に形成すべき周期構造を構成する、前記光導波路膜の本体と異なる屈折率となるべき部分の断面の大きさよりも小さい上記第3の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0022】又、第10の本発明は、前記通過部の前記断面の大きさが前記光導波路膜に形成すべき周期構造を構成する、前記光導波路膜の本体と異なる屈折率を有する部分の大きさの $1/4$ 以上である上記第9の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0023】又、第11の本発明は、前記光導波路膜に荷電粒子を注入後、前記光導波路膜をアルカリ水溶液に浸漬するステップを有し、前記荷電粒子注入部分のアルカリ水溶液による物質変化後の前記周期構造を構成する前記各部分の大きさが、前記光導波路膜に形成すべき前記周期構造を構成する各部分の大きさに実質上到達するまで前記アルカリ水溶液に浸漬する上記第10の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0024】又、第12の本発明は、複合周期構造を有する前記マスクの前記各周期構造の格子定数が前記各周期構造に固有の波長の $0.4 \sim 0.6$ 倍の大きさである上記第1の本発明のフォトニック結晶の作製方法である。

【0025】又、第13の本発明は、光軸方向に少なくともひとつのスルー構造のV溝(66, 67)を有する基板(68)と、前記基板のV溝を有する面に接するように配置されたフォトニック結晶(60)を含む光導波路膜(62)と、前記導波路膜の入射側(63)と出射側(64, 65)の内、光軸を含む前記基板と平行な面内において前記V溝により前記入射側に固定される少なくともひとつの入射側光ファイバーと、前記出射側に固定される少なくともひとつの出射側光ファイバーとを用



いて光デバイスを作製する光デバイス作製方法であって、前記フォトニック結晶は、各領域毎に予め定められた周期構造に基づいて配列された通過部（2，1301b）と、前記通過部を保持するマスク基板（1，1301）とを有するマスク（8，51）に対して所定粒子の照射又は電磁波の照射を行うことにより作製されたものであり、前記配列の方向は、前記フォトニック結晶の基本格子ベクトルの方向に対応しており、前記各領域における少なくとも一つの前記基本格子ベクトルの方向に対応する方向が、全ての前記領域について一致する光デバイス作製方法である。

【0026】又、第14の本発明は、前記V溝（64，65）の間隔（d）は、前記フォトニック結晶の前記領域の長さ（ $L_x$ ）に比例して決められる上記第13の本発明の光デバイス作製方法である。

【0027】又、第15の本発明は、前記フォトニック結晶の格子定数が2次元フォトニック結晶に固有の波長の0.4～0.6倍の大きさである上記第13又は14の本発明の光デバイス作製方法である。

【0028】又、第16の本発明は、前記フォトニック結晶は、前記光導波路膜を構成する薄膜コア部分からクラッド基板にわたって形成された空孔であって、且つ2次元周期的に配列した空孔から構成される上記第15の本発明の光デバイス作製方法である。

【0029】又、第17の本発明は、各領域毎に予め定められた周期構造に基づいて配列された通過部（2，1301b）と、前記通過部を保持するマスク基板（1，1301）とを備え、（a）所定の粒子（11）が照射される場合、前記粒子が前記通過部（2）のみを実質上通過する様に構成されているか、又は、（b）電磁波（54）が照射される場合、前記周期構造に基づく回折効果により所定の膜上にエネルギー密度の差が生じる様に構成されており、前記予め定められた周期構造が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスクである。

【0030】又、第18の本発明は、前記各領域における前記通過部の前記配列は、2次元周期構造に基づいた配列であり、前記配列の方向は、所定の膜に対して前記マスクを用いて作製されるべきフォトニック結晶の2次元基本格子ベクトルの2つの方向に対応しており、前記各領域における少なくとも一つの前記基本格子ベクトルの方向に対応する方向が、全ての前記領域について一致する上記第17の本発明のマスクである。

【0031】又、第19の本発明は、前記通過部は、前記各領域毎に、周期、大きさ、形状の内少なくとも何れか一つが異なる上記第18の本発明のマスクである。

【0032】又、第20の本発明は、前記粒子は荷電粒子であり、前記通過部は前記荷電粒子が通過可能な貫通孔である上記第17の本発明のマスクである。

【0033】又、第21の本発明は、前記マスク基板に

は電磁波が照射されるものであり、前記通過部の屈折率が、前記マスク基板の屈折率と異なる上記第17の本発明のマスクである。

【0034】又、第22の本発明は、所定の屈折率を有するマスク基板（1301，1401）を提供する

（a）ステップと、前記マスク基板（1301）上の複数の位置にイオン（1304）を注入し、又は、回折波の干渉によりエネルギー密度の差が前記マスク基板（1401）上の複数の位置で生じる様に電磁波（1404）を照射することにより、前記位置における前記マスク基板の屈折率を変化させる（b）ステップとを備え、前記位置は、前記マスク基板上の各領域毎に予め定められた基準に基づいて決定されており、前記予め定められた基準が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスク作製方法である。

【0035】又、第23の本発明は、所定の屈折率を有するマスク基板（1501）を提供する（a）ステップと、前記マスク基板に対して、複数の位置に貫通孔（1503）を形成する（b）ステップと、前記貫通孔に前記マスク基板の前記屈折率と異なる屈折率の部材（1505）を充填する（c）ステップとを備え、前記貫通孔の位置は、前記マスク基板上の各領域毎に予め定められた基準に基づいて決定されており、前記予め定められた基準が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスク作製方法である。

【0036】又、第24の本発明は、所定の粒子の通過を実質上制限するためのマスク基板を提供する（a）ステップと、前記マスク基板に対して、複数の位置にイオンビーム又は電子ビームによりドライエッチングを施して、複数の貫通孔を形成する（b）ステップとを備え、前記位置は、前記マスク基板上の各領域毎に予め定められた基準に基づいて決定されており、前記予め定められた基準が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスク作製方法である。

【0037】又、第25の本発明は、所定の粒子の通過を実質上制限するためのマスク基板（48）を提供する（a）ステップと、前記マスク基板に対して、複数の位置に突起部を有する型手段（47）を用いて、凹部又は貫通孔（2）を形成する（b）ステップとを備え、前記位置は、前記マスク基板上の各領域毎に予め定められた基準に基づいて決定されており、前記予め定められた基準が、前記マスク基板における少なくとも隣接する前記各領域間で異なるマスク作製方法である。

【0038】又、第26の本発明は、前記（b）ステップは、前記マスク基板に対して、前記凹部を形成するためのステップであり、前記凹部に対して陽極酸化を施すことにより、貫通孔を得る（c）ステップを備えた上記第25の本発明のマスク作製方法である。

【0039】又、第27の本発明は、前記突起部は、前記マスク基板の各領域に対応した各周期構造を有してお

り、前記周期構造は 2 次元基本格子ベクトルに基づく 2 次元配列であり、且つ、前記 2 つの基本ベクトルのなす角度の内、一方の角度が  $60 \sim 90^\circ$  であり、前記突起部は、前記各周期構造毎に、格子定数、大きさ、及び形状の内、少なくとも何れか一つが異なる上記第 25 の本発明のマスク作製方法である。

【0040】又、第 28 の本発明は、前記各周期構造の前記格子定数が、前記各周期構造に固有の波長の  $0.4 \sim 0.6$  倍の大きさである上記第 27 の本発明のマスク作製方法である。

【0041】又、第 29 の本発明は、光軸方向に少なくともひとつの V 溝 (66, 67) を有する基板 (68) と、前記基板の V 溝を有する面に接するように配置されたフォトニック結晶膜 (60) を含む光導波路膜 (62) と、前記導波路膜の入射側と出射側の内、光軸を含む前記基板と平行な面内において前記 V 溝により前記入射側に固定される少なくともひとつの入射側光ファイバー (63) と、前記出射側に固定される少なくともひとつの出射側光ファイバー (64, 65) とを備えた光デバイスであって、前記フォトニック結晶膜 (60) には、各領域毎 (101, 102) に予め定められた周期的な配列に基づいて屈折率の異なる部位が存在しており、且つ、前記周期的な配列の内、少なくとも一つの配列の方向が、全ての前記領域において前記光軸方向に一致している光デバイスである。

【0042】又、第 30 の本発明は、第 1 の屈折率を有するフォトニック結晶膜本体 (9) と、前記フォトニック結晶膜本体の各領域毎 (101, 102) に予め定められた周期的な配列 (101P, 102P) に基づいて存在する、前記第 1 の屈折率と異なる屈折率の部位 (45) とを備えたフォトニック結晶膜であって、前記周期的な配列の内、少なくとも一つの配列の方向が、全ての前記領域において光軸 (5) 方向に一致しているフォトニック結晶膜である。

【0043】このように、例えば、上記複数の周期構造を有するマスクを使用して、スラブ型導波路の薄膜コア部にマスクの構造を転写することにより、薄膜コア部分が複数の周期構造を有するフォトニック結晶となる。これにより、WDM など複数の波長について各波長に対応する各周期構造のフォトニック結晶が薄膜コアに形成できる。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0045】(第 1 の実施の形態) ここでは、本発明のフォトニック結晶の作製方法の一実施の形態について図面を参照しながら述べるとともに、それによって作製されるフォトニック結晶の一例についても同時に説明する。

【0046】図 1 は、複数種類の周期構造を有するフォ

トニック結晶の作製方法の概要及び、マスクの構成を示すための図である。又、図 11 は、本実施の形態におけるフォトニック結晶の周期構造の概要を説明するための断面模式図である。

【0047】図 1 に示すように、本フォトニック結晶の作製に用いるマスク 8 は、複数の貫通孔 2 と、それら貫通孔 2 を保持するためのマスク基板 1 から構成されている。尚、貫通孔 2 は、本発明の通過部の一例である。

【0048】マスク基板 1 は、第 1 のマスク部 6 ～第 n のマスク部 7 によって一体的に構成されている。一方、貫通孔 2 は、所定のイオンビーム 11 が通過可能であり、第 1 のマスク部 6 ～第 n のマスク部 7 の各領域毎に配列や大きさ・形状等が異なる。尚、所定のイオンビーム 11 は、本発明の所定の粒子の一例である。

【0049】即ち、マスク基板 1 は、第 1 のマスク部 6 ～第 n のマスク部 7 の各領域毎に、予め定められた周期構造に基づいて配列された貫通孔 2 を保持し、貫通孔 2 以外の場所でのイオンビーム 11 の通過を阻止する機能を有する基板である。

【0050】ここで、本実施の形態のマスク 8 の構成について更に詳細に説明する。

【0051】マスク 8 は、複数のマスク部を配列することにより構成されている。即ち、マスク 8 は、マスク基板 1 の表面に沿って、貫通孔 2 が 2 次元周期的に配列された第 k ( $k = 1, 2, \dots, n$ ) の 2 次元周期構造 3 (図 1 中では、第 k のマスク部 4 の一部を拡大した図として示した) を有する第 k のマスク部 4 が、各マスク部において共通の第 1 の基本格子ベクトル 5 の方向に第 1 のマスク 6 から第 n のマスク 7 まで、n 個配列された構成を有している。

【0052】そして、マスク 8 は、上記各マスク部の 2 次元周期構造の貫通孔 2 の形状と周期が異なる複合周期構造体をなしている。

【0053】尚、第 k のマスク部 4 の格子定数  $a_k$  と孔径 (半径)  $r_k$  は、第 k のマスク部 4 に対応する光波長  $f_k$  と次式に示す線形関係にある。

【0054】 $a_k = C_a \times f_k$  ( $C_a$ : 定数)

$r_k = C_r \times f_k$  ( $C_r$ : 定数)

次に、本実施の形態のフォトニック結晶の作製方法について説明する。

【0055】まず、薄膜コア 9 とクラッド基板 145 の 2 層構造で構成されるスラブ型導波路 18 を用意する (本発明の第 1 ステップに対応)。

【0056】次に、図 1 に示す様に、スラブ型導波路 18 の薄膜コア 9 の上にマスク 8 を重ねる (本発明の第 2 ステップに対応)。

【0057】そして、H、O、Ar、Xe、Kr、Au などの 1 MeV 以上の高エネルギーイオンビーム 11 をマスク 8 を介して薄膜コア 9 に注入することにより、マスク 8 の 2 次元周期構造を薄膜コア 9 部分に転写するこ



とが出来る（本発明の第2ステップに対応）。

【0058】これにより、2次元周期構造がそれぞれ異なる複数種類のフォトニック結晶が一つの薄膜コア9において同時に一体構造として（本願明細書では、これを複合周期構造と呼ぶ）作製出来る。

【0059】よって、部品点数が削減出来、しかも、従来の様に面倒な光軸あわせが不要となるという効果を発揮する。

【0060】本実施の形態では、薄膜コア8の材料としては、1.3～2.0程度の屈折率を有する、例えばガラスやポリマー等の誘電体を使用する。

【0061】又、マスク8は、貫通孔2の2次元周期構造として、約80°の内角 $\theta$ （12）を有する2個の基本格子ベクトル(a1,a2)方向に、各フォトニック結晶が作用する波長の約0.54倍の格子定数a（14）を有している。

【0062】これにより、薄膜コア9に転写された周期構造部は、上記マスク8と同じ基本格子ベクトル方向に、各フォトニック結晶が作用する波長の約0.54倍の格子定数a（14）を有している。

【0063】貫通孔2の屈折率は1.0であるため、屈折率が1.3～2.0の薄膜コア9上に異なる屈折率（屈折率=1.0）の2次元周期構造が出来る。

【0064】又、クラッド基板145としては、1.0～1.8程度の屈折率を有する、例えばガラスやポリマー等の誘電体を使用する。

【0065】なお、マスクの周期構造を転写する方法としてイオンビーム以外に電磁波を使用しても良い。

【0066】このように、複数の周期構造を有するマスクを使用して、スラブ型導波路の薄膜コア部に前記マスクの構造を転写することにより、前記薄膜コア部分が複数の周期構造を有するフォトニック結晶となり、WDMなど複数の波長について各波長に対応する各周期構造のフォトニック結晶が前記薄膜コアに形成できる。

【0067】（第2の実施の形態）次に、図2を参照しながら、本発明のフォトニック結晶の作製方法の一実施の形態を中心に説明する。図2は、本実施の形態のフォトニック結晶の作製方法の構成概要図である。

【0068】本フォトニック結晶の作製方法の第2の実施の形態は、図2に示すように、薄膜コア20とクラッド基板21の2層で構成されるスラブ型導波路29と、2次元周期構造を有するマスク22と、マスクホルダー23を用いる構成である。

【0069】尚、マスクホルダー23は本発明のスペーサの一例である。

【0070】ここで、マスクホルダー23は、マスク22と薄膜コア20の間を一定間隔に維持し、マスク22と薄膜コア20を対向させるための窓24を有する構成であり、マスク22と一体化して用いられる。尚、マスクホルダー23は、本発明のスペーサの一例である。

【0071】尚、マスク22の周期構造の薄膜コア20への転写方法としては、上記第1の実施の形態と同様にイオンビームや電磁波を使用する。

【0072】マスクホルダー23の窓24の形状は、スラブ型導波路29の光軸25方向に関してはスラブ型導波路29の導波路長よりも長く、且つ、薄膜コア20の面内で光軸25に対して垂直方向に関してはスラブ導波路29の幅よりも小さい。

【0073】このように、窓24の形状を光軸方向に大きくとることにより、スラブ型導波路29の光入力端から光出力端までフォトニック結晶を形成できる一方、光軸方向と直交する方向の幅を小さくすることで、マスク22と薄膜コア20との間に一定間隔が形成でき、安定した転写が可能となる。

【0074】また、マスク22と一体化したマスクホルダー23を使用することにより、次の様な効果がある。即ち、例えばマスク22が数 $\mu\text{m}$ 程度の薄膜状であっても、作業や機械による取り扱いが容易であり、又、マスク22の再利用が可能となる。又、マスク22とマスクホルダー23とを一体化して、その一体化したマスクホルダーの移動により、上記マスク構造を複数の光導波路膜に次々と転写することも出来る。

【0075】（第3の実施の形態）次に、主として図3（a）～図3（c）を参照しながら、本発明の一実施の形態について説明する。

【0076】図3（a）～図3（c）は、本フォトニック結晶の作製方法であって、多数の小さな球状孔の結合により形成された円筒状の空孔の形成方法の構成概要を説明するための模式図である。図3（a）は、イオンビーム注入直後の状態を説明する図、図3（b）は、NaOH浸漬後の状態を説明する図、図3（c）は、NaOH浸漬完了時の状態を説明する図である。

【0077】本実施の形態のフォトニック結晶の作製方法は、上記第1の実施の形態のフォトニック結晶と同様の構成であり、マスク8の周期構造をスラブ型導波路18の薄膜コア9に転写することでフォトニック結晶を形成する構成である（図1参照）。

【0078】ここで、上記転写方法は、薄膜コア9にポリマーを使用し、H、O、Ar、Xe、Kr、Auなどのイオンを高エネルギー（1MeV以上）に加速してスラブ型導波路18の薄膜コア9の部分に注入するものである。

【0079】即ち、上記の様に注入されたイオンの軌跡に沿ってポリマーの高分子結合が切れたトラッキング30が、薄膜コア9部分に生じる（図3（a）参照）。

【0080】次に、トラッキング30が生じた状態で薄膜コア9をNaOHなどのアルカリ水溶液に浸漬すると、トラッキング30部分がウェットエッチングされて多数の空孔33が生じ（図3（b）参照）、エッチング



時間に従って前記空孔が大きくなる（図3（c）参照）。

【0081】理想的には、所定の位置に一個のイオンを注入することにより、空孔を所望の大きさの空孔35に形成する方法をとれば、空孔形状の断面を円形にできる。

【0082】しかし、イオンビームの内、イオン1個の注入をマスクで制御するのはほとんど不可能である。

【0083】そこで、図3に示すように、マスク8の空孔31の大きさを、ポリマー薄膜コア9に形成すべき所望の空孔45の大きさよりも小さく、例えば、約1/2とする。そうすると、マスク8の空孔31の端に沿ってできたトラッキング30がアルカリのウェットエッチにより、空孔33が大きくなり、上記所望の大きさの空孔45まで成長する。このようにして、ほぼ所望の大きさの空孔45が形成できる。

【0084】すなわち、マスク8の空孔31を通過する複数個のイオンがスラブ型導波路18のポリマー製薄膜コア9に注入され、所望の大きさの空孔45よりも小さい範囲に複数のトラッキング30が形成される。

【0085】そして、複数のトラッキング30が生じたポリマー製薄膜コア9をアルカリ水溶液に浸漬すると複数の成長中の空孔33ができ、近接した空孔は結合してより大きな空孔が形成される。そして、最外位置の空孔が所望の大きさの空孔45の端に到達した時にアルカリ浸漬を完了する。

【0086】これにより、複数の成長した空孔35が互いに結合し合い、所望の空孔45の範囲はトラッキング30を起点として成長した空孔35で埋め尽くされ、ほぼ所望の空孔45に近い空孔がされる。

【0087】このようにして作製されたフォトニック結晶の薄膜コア9を有するスラブ型導波路18の断面模式図を図11に示す。図11に示した断面は、光軸に平行な面即ち、第1の基本格子ベクトル5の方向に平行な面である。

【0088】図11において、領域101は、図1の第kのマスク部4に対応する周期構造を有しており、空孔45間のピッチ101pは、格子定数a（14）と一致している。又、領域102は、第k+1のマスク部に対応する周期構造を有しており、空孔45間のピッチ102pは、上記格子定数a（14）とは異なる値である。

【0089】このように、1個のイオンでなくても複数個のイオンの注入範囲を制御すれば、複数個の空孔の結合により1個の大きな空孔を形成することができる。

【0090】又、このようにして作製されたフォトニック結晶のスラブ型導波路についても上記実施の形態と同様、部品点数が削減出来、しかも、従来の様に面倒な光軸あわせが不要となるという効果を発揮する。

【0091】（第4の実施の形態）次に、主に図4を参照しながら、本発明のマスクの作製方法について説明す

る。

【0092】図4は、本実施の形態におけるフォトニック結晶作製用マスクの作製方法の概要図を示す。

【0093】本実施の形態のフォトニック結晶は、上記第1の実施の形態のフォトニック結晶と同様の構成である。

【0094】本実施の形態のマスクの作製方法では、モールド47は、複数のモールド部を配列することにより構成されている。即ち、モールド基板40の面に沿って、凸部41が周期的に配列した第k（ $k=1, 2, \dots, n$ ）の2次元周期構造42を有する第kのモールド部43が、共通の第1の基本格子ベクトル方向44に第1のモールド部245から第nのモールド部46までn個配列した構成を有している。

【0095】モールド47は、上記各モールド部の2次元周期構造の凸部41の形状と周期が、各モールド部に応じてそれぞれ異なる複合周期構造体として構成されている。

【0096】尚、上記モールド47は、本発明の型手段に対応する。

【0097】上記構成により、モールド47の凸部41の面を、アルミなどのマスク基板48に対向させて、プレスして、マスク基板48表面に凹凸パターンを作製する。

【0098】図12は、図4に示すモールド47のA-A'断面の内、特に第kのモールド部43と、第k+1のモールド部49との断面部分を拡大した断面模式図である。

【0099】次に、上記マスク基板48をシュウ酸などで陽極酸化することにより、マスク基板48はモールド47の周期構造を有するホール構造を有する金属酸化物マスク基板となる。

【0100】この様にして、モールド47の2次元周期構造を有するホール集合体を膜厚方向に拡張して、貫通孔とした構造をマスク基板48に形成することが出来る。

【0101】本実施の形態では、モールド47の材料としてガラスや金属などを使用している。又、凸部41の2次元周期構造としては、約 $80^\circ$ の内角 $\theta$ （49）を有する2個の基本格子ベクトル（ $a_1, a_2$ ）方向に、各フォトニック結晶が作用する波長の約0.54倍の格子定数a（50）を有する。

【0102】尚、本実施の形態では、マスク基板上の所望の貫通孔の位置にモールド47の凸部41をプレスして、更にシュウ酸などで陽極酸化することにより、マスク基板上に貫通孔を作製する方法について説明したが、これに限らず、以下の様な方法もある。

【0103】即ち、マスク基板に対して、マスク基板の膜厚と同じかそれ以上の高さの凸部を有するモールドをプレスすることにより、一挙に貫通孔を作製する方法で

もよい(図15(a)~図15(c)参照)。

【0104】又、他の方法としては、マスク基板の所望の位置に対して、イオンビームや電子ビームを照射して、ドライエッチングを施すことも可能である。この場合、所望の位置にのみイオンビームなどを照射するために、周期構造の貫通孔を有するマスク作成用のマスクを使用する。

【0105】尚、凸部41の高さは、本実施の形態の様に、陽極酸化等の後処理を施す場合は、マスク膜厚(1~100 $\mu$ m)以下に設定されており、1 $\mu$ m以下のナノオーダである。しかし、これに限らず例えば、プレスのみによりマスクを作製する場合は、凸部の高さは、マスク膜厚と同等又はそれ以上の高さに設定されることは、上述した通りである。

【0106】(第5の実施の形態)ここでは、図5を参照しながら、本発明のフォトニック結晶の作製方法の一実施の形態を中心に説明する。

【0107】図5は、本実施の形態のフォトニック結晶の作製方法の概要図である。

【0108】本実施の形態のフォトニック結晶の作製方法は、図5に示すように、2種類の屈折率が2次元周期的に配列した回折格子51をマスクとして使用する。

【0109】即ち、薄膜コア52とクラッド基板53の2層構造で構成されるスラブ型導波路58の薄膜コア52から一定距離離れた位置に回折格子51を配置し、レーザーなどの電磁波54を回折格子51に照射する。

【0110】これにより、発生した回折光55により薄膜コア52上にエネルギー密度の濃淡が発生する。

【0111】このエネルギー密度の濃淡により、エネルギー密度の高い部分はエッチングされて屈折率が変化し(屈折率=1.0)、エネルギー密度の低い部分は屈折率の変化が起こらない結果(例えば、屈折率=1.3~2.0)、2次元周期構造を薄膜コア52に転写できる。

【0112】尚、本実施の形態では、回折格子51の屈折率の2次元周期構造は、2個の基本格子ベクトルの内角 $\theta$ が約80°のものである。

【0113】又、このような内角 $\theta$ が約80°の回折格子51を使用して作製したフォトニック結晶は、次の様な効果を発揮する。

【0114】格子内角を80°にすると、格子定数と空孔径及び屈折率の組み合わせに対応する波長のみ約7°偏光するので、複数種類の内、一種類の波長だけを取り出すことが出来る。

【0115】また、回折格子51の2次元周期構造として、上記第1の実施の形態のマスクの周期構造と同様に、複数種類の周期構造として、第kのマスク部51b(k=1~n)が同一基板上に連続的に形成されたものを使用してもよい。尚、図中では、第1のマスク部に51a、第nのマスク部に51cを符号を付した。

【0116】このように、回折格子を使用すると、一度に薄膜コアに複数種類の周期構造(複合周期構造)を形成することができる。このようにして作製されたフォトニック結晶のスラブ型導波路についても上記実施の形態と同様、部品点数が削減出来、しかも、従来の様に面倒な光軸あわせが不要となるという効果を発揮する。

【0117】次に、図13(a)~図15(d)を用いて、本実施の形態で用いた回折格子であるマスクの作製方法について3通りの方法を説明する。

【0118】第1の方法としては、図13(a)、図13(b)に示す様に、マスク基板1301上において、屈折率を変化させるべき所望の位置に、イオン1304を注入して、注入された位置の屈折率を、注入されていない位置より高い屈折率に変化させるものである。所望の位置にのみイオン1304を注入するためには、周期構造の貫通孔1303を有する、マスク作成用のマスク1302を使用する。

【0119】これにより、マスク基板1301は、マスク基板本体の低屈折率部分1301a(例えば、屈折率 $\approx$ 1.500)の中に、高屈折率部分1301b(例えば、屈折率 $\approx$ 1.505)が周期的に2次元配列された構造となる。

【0120】尚、図13(a)~図15(d)では、図面を簡単にするために、一種類の2次元周期構造であるかの様に描かれているが、この2次元周期構造は、図5で述べた様に、第1のマスク部51a~第nのマスク部51cの各領域毎に異なるものである。その点は、図4、12等を用いて説明した上記実施の形態の場合と基本的には同じである。

【0121】但し、回折格子であるマスク51は、上記実施の形態4等で述べたマスクの相似形であり、薄膜コア52のサイズより小さい点で、上記実施の形態のマスクと異なる(図5参照)。又、マスク51の場合、電磁波は、高屈折率部分のみならず、低屈折率部分も透過する。

【0122】第2の方法としては、図14(a)~図14(b)に示す様に、マスク基板1401上において、屈折率を変化させるべき所望の位置に、回折波の干渉により生じる照射エネルギーの密度の高い部分が形成される様にする。これにより、所望の位置の屈折率を他の位置に比べてより高い屈折率に変化させるものである。

【0123】尚、この様に、回折波の干渉によりマスク基板上に照射エネルギー密度の強弱分布を生じさせるためには、マスク作製用のマスク1402が必要となる。このマスク作製用のマスク1402は、2種類の屈折率が2次元周期的に配列された低屈折率部分1402aと高屈折率部分1402bとを有する回折格子である。

【0124】以上の構成において、先ずマスク基板1401から一定距離離れた位置にマスク作製用のマスク1402を配置して、紫外線等の電磁波1404を照射す



る。

【0125】そうすると、マスク基板1401上に、上述した様に、照射エネルギー密度の強弱分布が生じ、その強弱に対応して、マスク基板1401に屈折率の変化が生じ。図14(b)では、これらを低屈折率部分1401aと、高屈折率部分1401bとして示した。

【0126】尚、マスク作成用のマスク1402は、例えば、図13(a)～図13(b)や図15(a)～図15(d)で示した方法により作成する。

【0127】第3の方法としては、図15(a)～図15(d)に示す様に、マスク基板1501上において、屈折率を変化させるべき所望の位置に、モールド1502を使用して貫通孔1503を作製し、その貫通孔にマスク基板と屈折率の異なる物質（例えば、高屈折率材料1505）を充填する。これにより、所望の位置のみ屈折率を変化させるものである。

【0128】尚、図15(a)～図15(d)では、マスク基板の構造として、貫通孔を作製して充填物を充填する場合について説明したが、これに限らず例えば、モールドを用いて、マスク基板に凹部を周期的に形成するだけでもよい。

【0129】尚、本実施の形態では、回折格子から構成されたマスク51として、高屈折率の部分と低屈折率の部分が周期的に配列された構造のものを説明したが、これに限らず例えば、上記実施の形態4で述べた様なマスク構造でも良い。この場合のマスクは、上述したマスクの高屈折率の部分に対応する部分が電磁波の通過出来る構造又は物質であり、且つ上記低屈折率の部分に対応する部分が電磁波の通過出来ない構造又は物質であり、それらが2次元周期構造を有している。この場合のマスクについても、上記マスクと同様に、マスクに電磁波が照射されると、上記2次元周期構造に基づく回折効果により薄膜コア52の表面上にエネルギー密度の強弱の分布が生じるものである。ここで、電磁波が透過又は通過出来る部分は、貫通孔であっても良いし、電磁波が透過可能な物質が充填されていてもよい。

【0130】（第6の実施の形態）ここでは、図6、図7等を参照しながら、本発明の光デバイスの位置実施の形態について説明する。

【0131】図6は、本実施の形態の光デバイスの構成概要図を示し、図7に本実施の形態の断面図を示す。

【0132】本実施の形態の光デバイスは、図6に示すように、周期構造を有する薄膜コア60とクラッド基板61の構成されたスラブ型フォトニック結晶導波路62と、入力側光ファイバー63と、第1の出力側光ファイバー64と、第2の出力側光ファイバー65と、前記スラブ型フォトニック結晶の薄膜コア60側と接合面を共有し、上記接合面側に上記入力側光ファイバー63と第1の出力側光ファイバー64を同一光軸上に固定する第1のV溝66と、第2の出力側光ファイバー65を固

定する第2のV溝67を有するV溝付基板68で構成される。

【0133】ただし、第1のV溝66と第2のV溝67は、スラブ型フォトニック結晶導波路62に平行なV溝付基板68上の端から端まで形成されたいわゆるスルーのV溝であって、第1のV溝66と第2のV溝67により、入力側光ファイバー63と第1の出力側光ファイバー64と第2の出力側光ファイバー65は、V溝付基板と接合面69を共有するスラブ型フォトニック結晶導波路62の薄膜コア60と最適結合できる高さに合わせられる。尚、図6において、領域101、102は、図11で説明した通り、第k及び第k+1のマスク部に対応する周期構造を有している。

【0134】このように、基板に入力側から出力側までスルー構造のV溝を形成することにより、入力側光ファイバー63と第1の出力側光ファイバー64の光軸調整用のV溝の精度が上がることで、また、スルー構造のV溝とすることで、基板上へのV溝加工が容易になる。ここで、スルー構造のV溝とは、図6に示す様に、光軸に平行な方向を基準とした基板68の長さと同じ長さの溝を意味する。

【0135】次に、図16を用いて第k領域（ $k=1\sim n$ ）のフォトニック結晶の長さ $L_k$ と、2つの出力側光ファイバー64、65の間隔dとの関係について説明する。

【0136】図16は、入力側からの $n+m$ 種類の波長（ $\lambda_1\sim\lambda_{n+m}$ ）の光信号が入射されて、 $\lambda_{n+1}\sim\lambda_{n+m}$ のグループと、 $\lambda_1\sim\lambda_n$ のグループに分かれて、それぞれ第1の出力側光ファイバー64と第2の出力側光ファイバー65に出射される場合を示した図である。

【0137】薄膜コア60に形成された第k領域のフォトニック結晶1601において、特定の波長 $\lambda_k$ のみがある角度 $\theta$ だけ偏向し、他の波長は光軸方向に直進する。

【0138】第k領域のフォトニック結晶1601の出射端1602における無偏向光1603と偏向光1604の間隔dは、第k領域のフォトニック結晶1601の長さ $L_k$ と $\tan\theta$ の積で決まる。

【0139】ここで、他の領域のフォトニック結晶の長さ（例えば $L_1$ 、 $L_n$ など）や、偏向角度（例えば、 $\theta_1$ 、 $\theta_n$ 等）は、 $L_i$ と $\tan\theta_i$ （ $i=1\sim n$ 、 $i\neq k$ ）の積が上述の様に得られたdと同じ値になる様に設定してある。そのため、第k領域のフォトニック結晶1601の長さに比例した値として、第1のV溝66と第2のV溝67の間隔が決定される。

【0140】尚、各領域のフォトニック結晶毎に特定の波長のみを取り出すには、例えば各領域の側面側からその波長の光信号を出射する様にすれば良い。

【0141】又、上記実施の形態では、格子定数が、2次元フォトニック結晶に固有の波長の約0.54倍の場



合について説明したが、これに限らず例えば、波長の0.4～0.6倍の範囲であればどのような値でもよい。

【0142】又、上記実施の形態では、基本格子ベクトルのなす角度が80度の場合を中心に述べたがこれに限らず例えば、60～90度の範囲であれば良い。

【0143】なお、第1の実施の形態～第6の実施の形態に記載のフォトニック結晶の空孔の深さについては、例えば、図11に示す様に、スラブ型フォトニック結晶導波路18の薄膜コア9の部分だけ貫通する空孔45でもかまわないが、これに限らず例えば、図8に示すように、空孔83が、薄膜コア80を貫通し、クラッド基板81側にも一部入り込んだ構成でもよい。更に、クラッド基板側をも貫通する構成でもよい。

【0144】以上述べたところから明らかなように、上記実施の形態によれば、複数の周期構造を有するマスクを使用して、スラブ型導波路の薄膜コア部に前記マスクの構造を転写することにより、前記薄膜コア部分が複数の周期構造を有するフォトニック結晶となり、WDMなど複数の波長について各波長に作用するフォトニック結晶が形成できるという効果を有するものである。

【0145】

【発明の効果】以上述べたことから明らかなように、本発明は、部品点数が削減出来、しかも、従来の様に面倒な光軸あわせが不要となるという長所を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態である多周期構造を有するフォトニック結晶の概要図

【図2】本発明の第2の実施の形態であるフォトニック結晶の概要図

【図3】(a)～(c)：本発明の第3の実施の形態である多孔による空孔形成方法の概要図

【図4】本発明の第4の実施の形態であるフォトニック結晶作製用マスクの作製方法の概要図

【図5】本発明の第5の実施の形態であるレーザーを使用したフォトニック結晶作製の概要図

【図6】本発明の第6の実施の形態であるフォトニック結晶の応用デバイスの概要図

【図7】本発明の第6の実施の形態であるフォトニック結晶の応用デバイスの断面概要図

【図8】本発明の第1～6の実施の形態に記載のフォトニック結晶の空孔の深さの説明図

【図9】(a)、(b)：単周期フォトニック結晶を示す図

【図10】(a)、(b)：従来の単周期フォトニック結晶をモールドで作製する例を示す図

【図11】第1の実施の形態におけるフォトニック結晶の周期構造の概要を説明するための断面模式図

【図12】図4に示すモールド47のA-A'断面の内、特に第kのモールド部43と、第k+1のモールド

部49との断面部分を拡大した断面模式図

【図13】(a)、(b)：第5の実施の形態における、イオン注入によるマスク基板の作製方法を説明する図

【図14】(a)、(b)：第5の実施の形態における、電磁波干渉によるマスク基板の作製方法を説明する図

【図15】(a)～(d)：第5の実施の形態における、モールドによるマスク基板の作製方法を説明する図

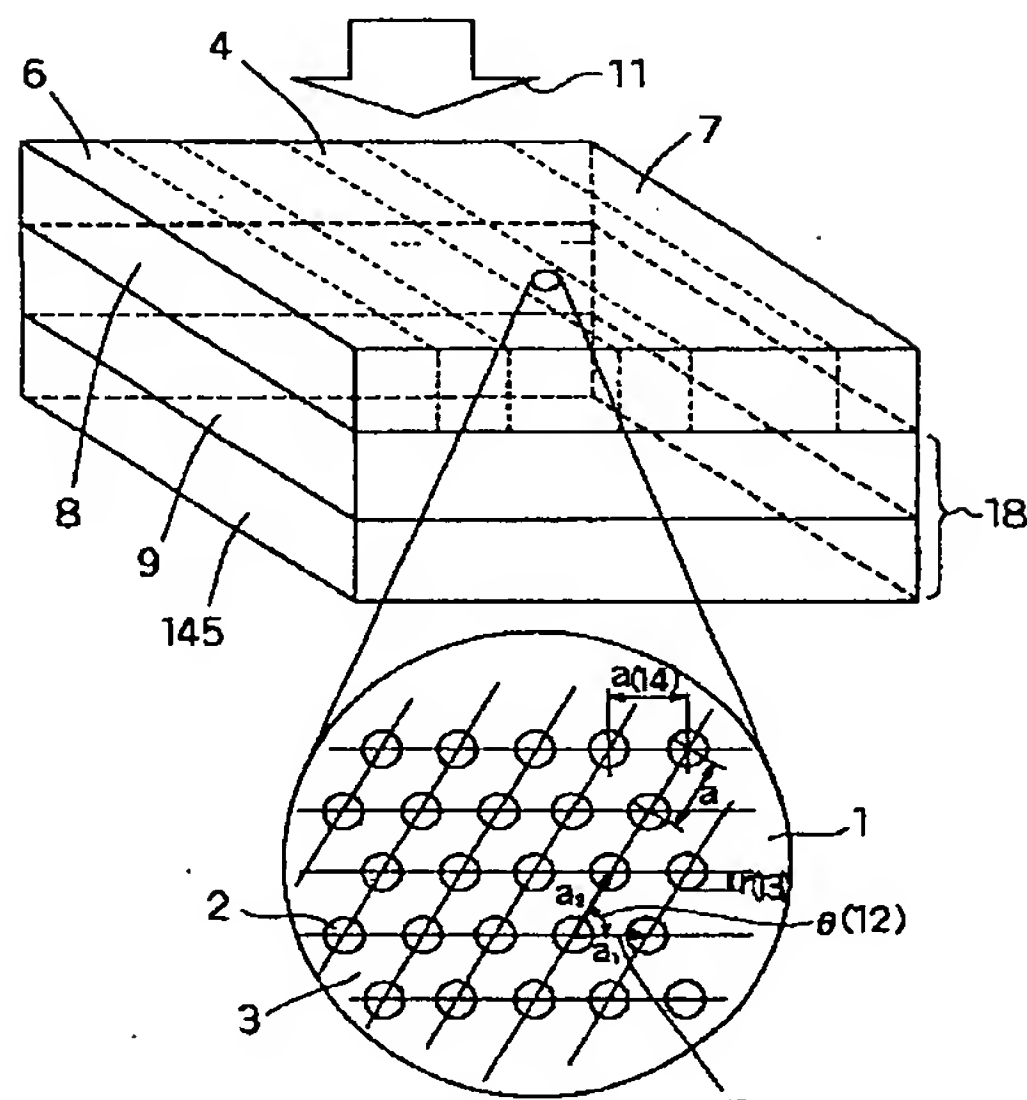
【図16】図6に示す光デバイスによる波長の偏向を説明するための模式図

【符号の説明】

- 1 マスク基板
- 2 貫通孔
- 3 第kの2次元周期構造
- 4 第kのマスク部
- 5 第1の基本格子ベクトル
- 6 第1のマスク部
- 7 第nのマスク部
- 8 マスク
- 9 薄膜コア
- 10 クラッド基板
- 11 イオンビーム
- 12 結晶格子内角
- 13 空孔半径
- 14 格子定数
- 20 薄膜コア
- 21 クラッド基板
- 22 マスク
- 30 23 マスクホルダー
- 24 窓
- 25 光軸
- 26 イオンビーム
- 30 トラッキング
- 31 マスクの空孔
- 45 ポリマー薄膜の所望空孔形状
- 33 成長中の空孔
- 34 NaOH水溶液
- 35 完成空孔
- 40 40 モールド基板
- 41 凸部
- 42 第kの2次元周期構造
- 43 第kのモールド部
- 44 第1の基本格子ベクトル
- 245 第1のモールド部
- 46 第nのモールド部
- 47 モールド
- 48 マスク基板
- 49 結晶格子内角
- 50 50 格子定数

- 51 回折格子
- 52 薄膜コア
- 53 クラッド基板
- 54 レーザー
- 55 回折光
- 60 薄膜コア
- 61 クラッド基板
- 62 スラブ型フォトニック結晶
- 63 入力側光ファイバー
- 64 第1の出力側光ファイバー
- 65 第2の出力側光ファイバー
- 66 第1のV溝
- 67 第2のV溝
- 68 V溝付基板
- 69 接合部
- 80 薄膜コア

【図1】

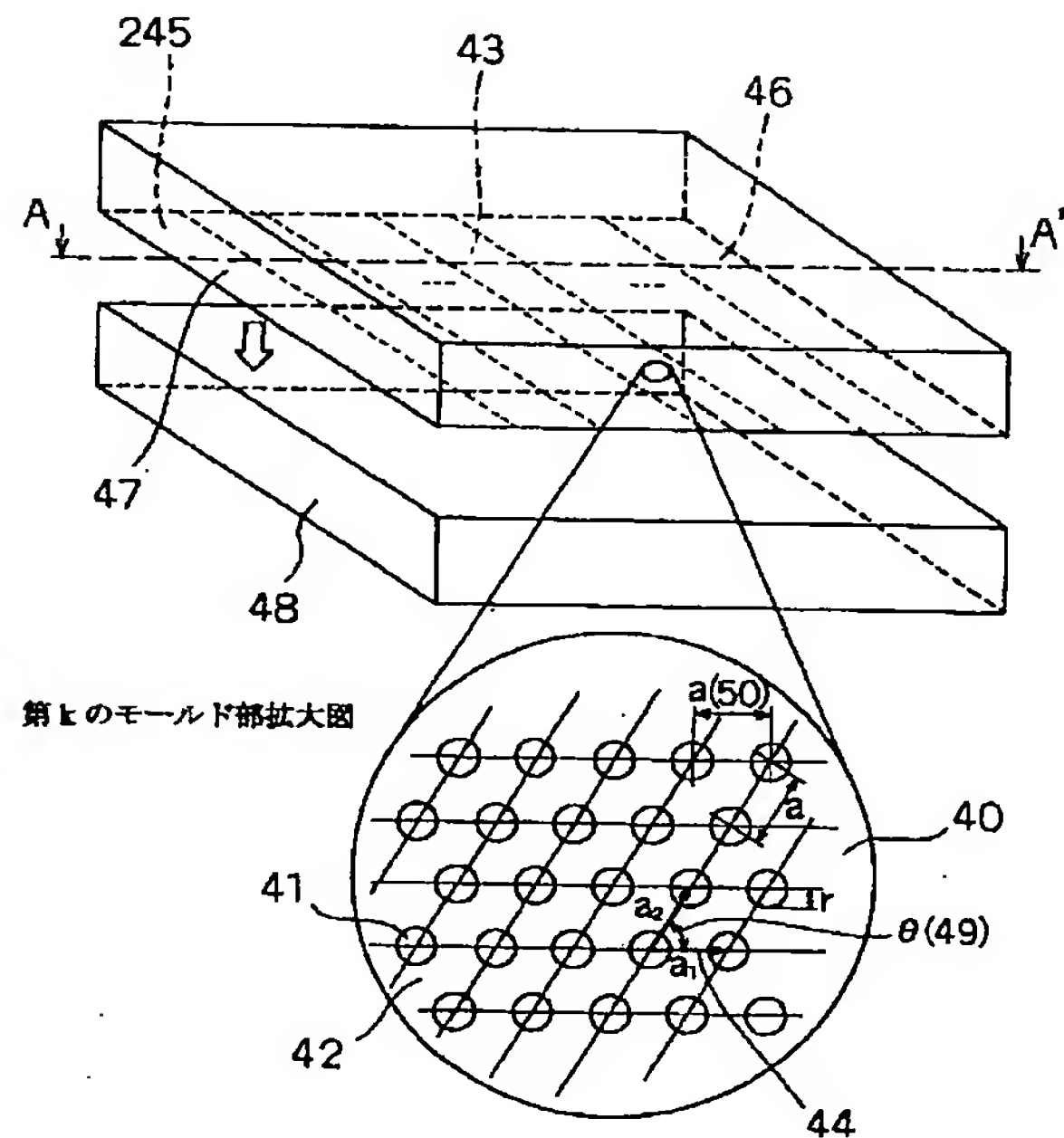


- |               |                    |
|---------------|--------------------|
| 1 マスク基板       | 9 薄膜コア             |
| 2 貫通孔         | 11 イオンビーム          |
| 3 第1の2次元周期構造  | 12 結晶格子内角          |
| 4 第1のマスク部     | 13 空孔半径            |
| 5 第1の基本格子ベクトル | 14 格子定数            |
| 6 第1のマスク部     | 18 スラブ型フォトニック結晶導波路 |
| 7 第2のマスク部     | 145 クラッド基板         |
| 8 マスク         |                    |

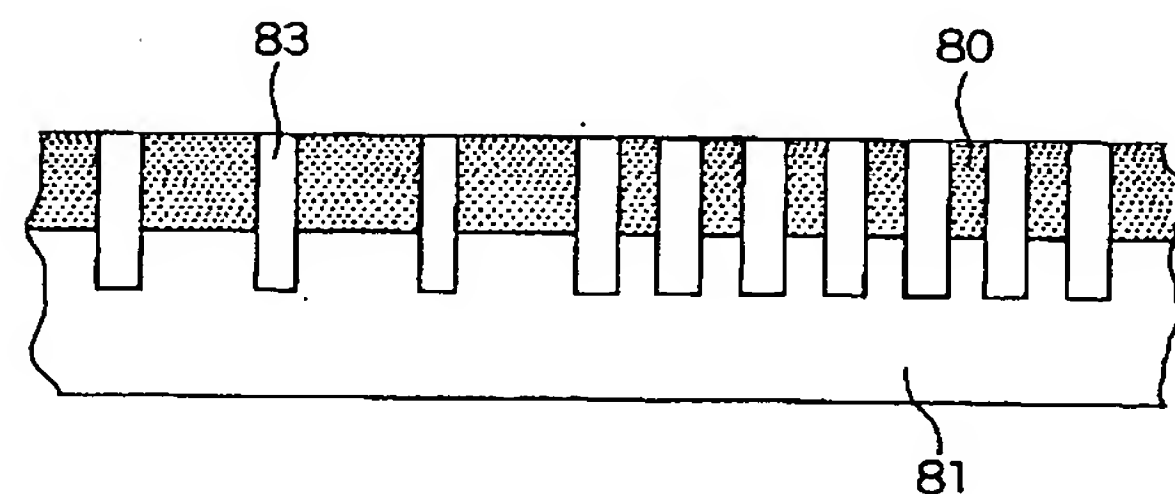
- \* 81 クラッド基板
- 82 スラブ型フォトニック結晶導波路
- 83 空孔
- 90 ガラス基板
- 91 ポリマー薄膜
- 92 単周期マスク
- 93 トラッキング
- 94 注入イオン
- 95 イオンビーム
- 10 96 貫通孔
- 101 基板
- 102 モールド
- 103 凸凹パターン
- 104 周期的ナノホール構造
- 105 金属酸化物薄膜

\*

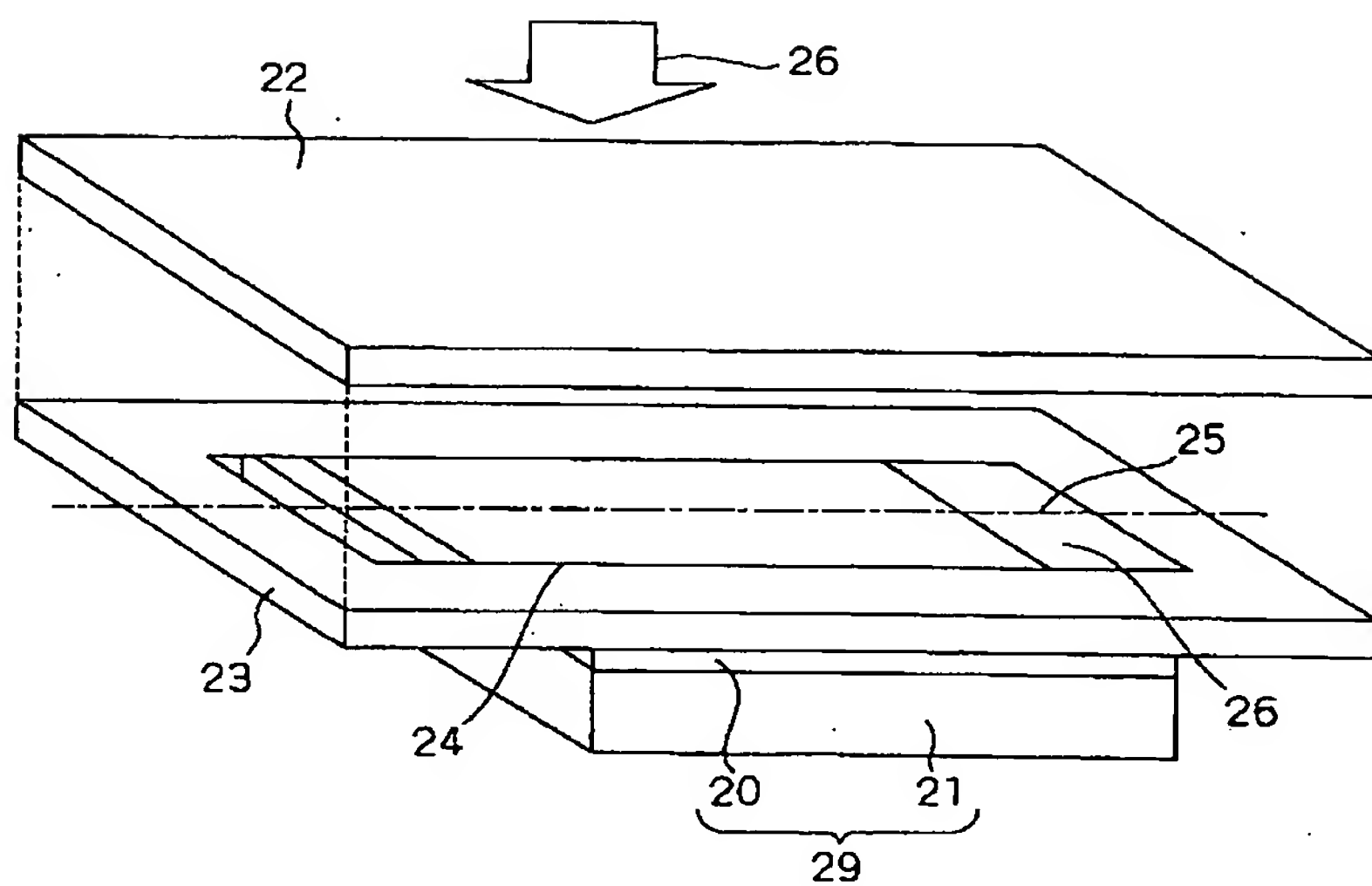
【図4】



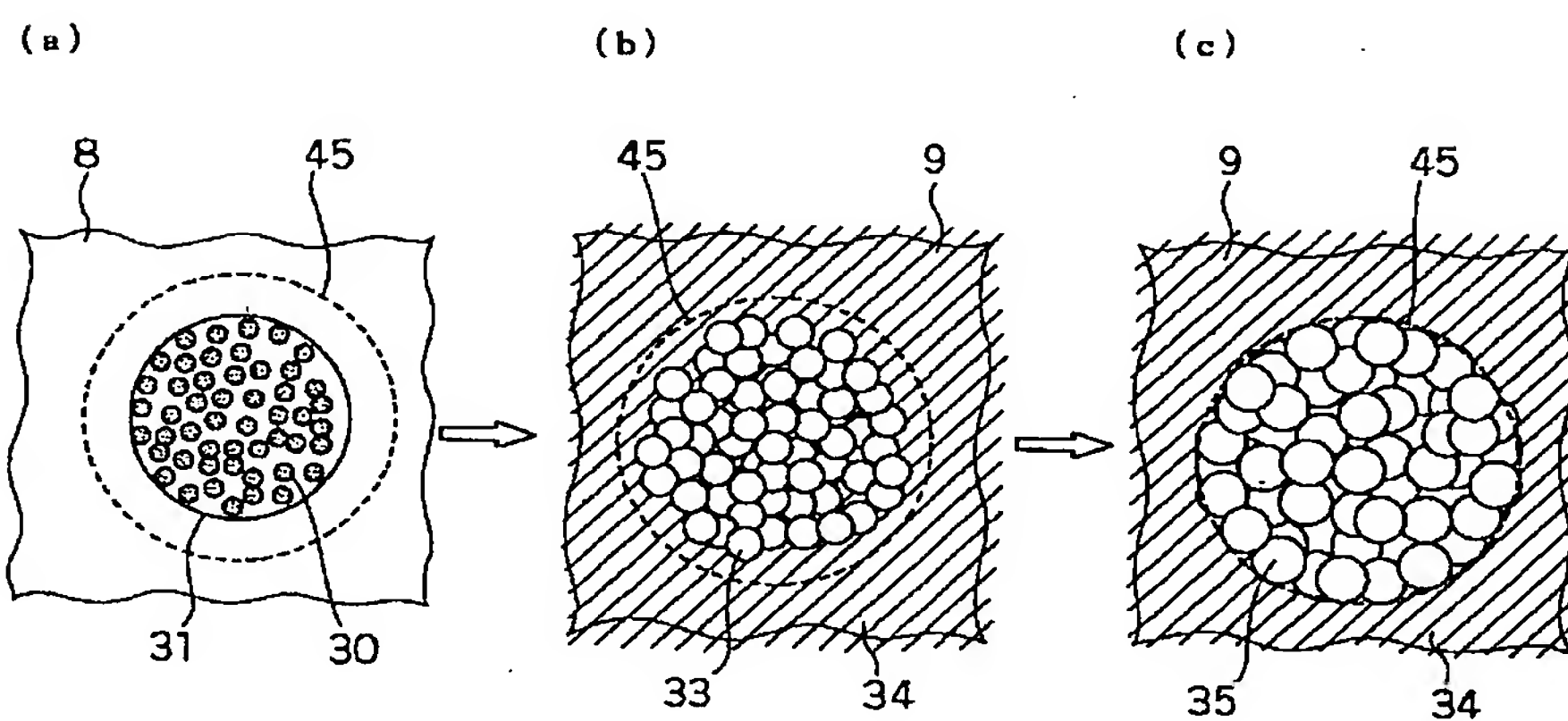
【図8】



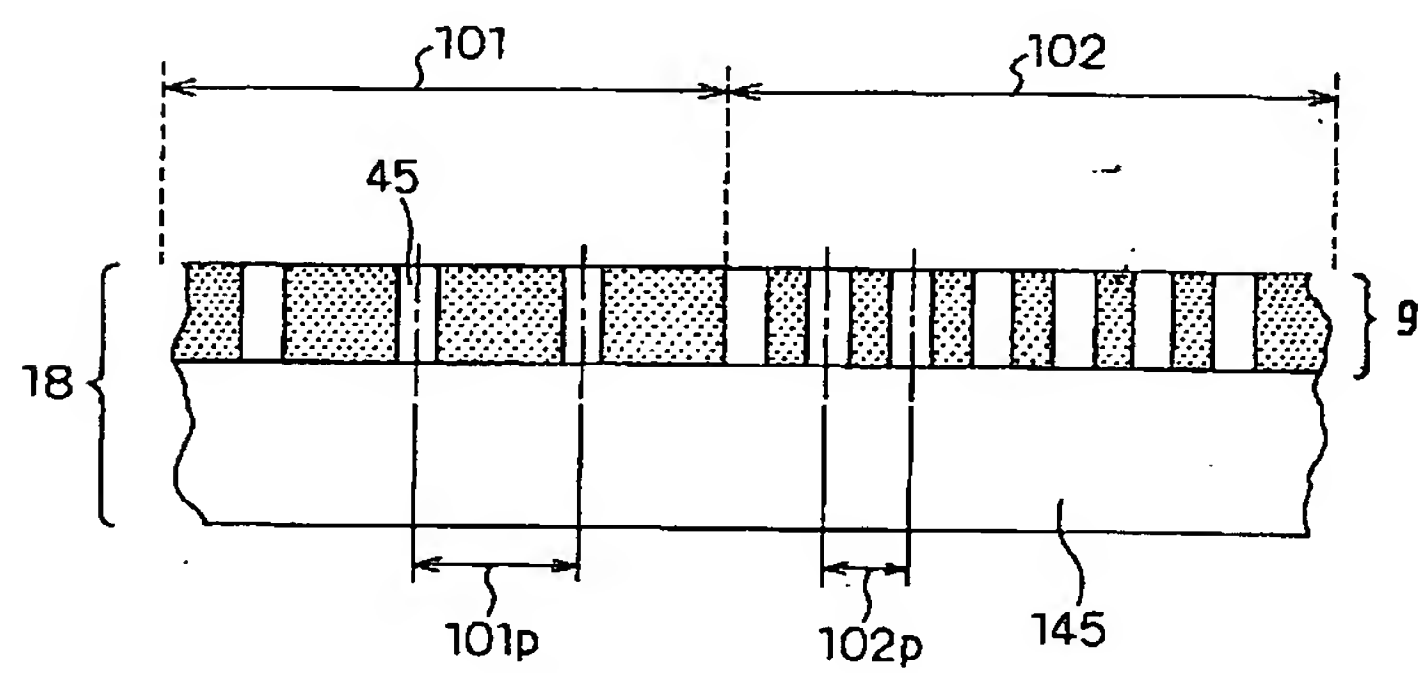
【図2】



【図3】

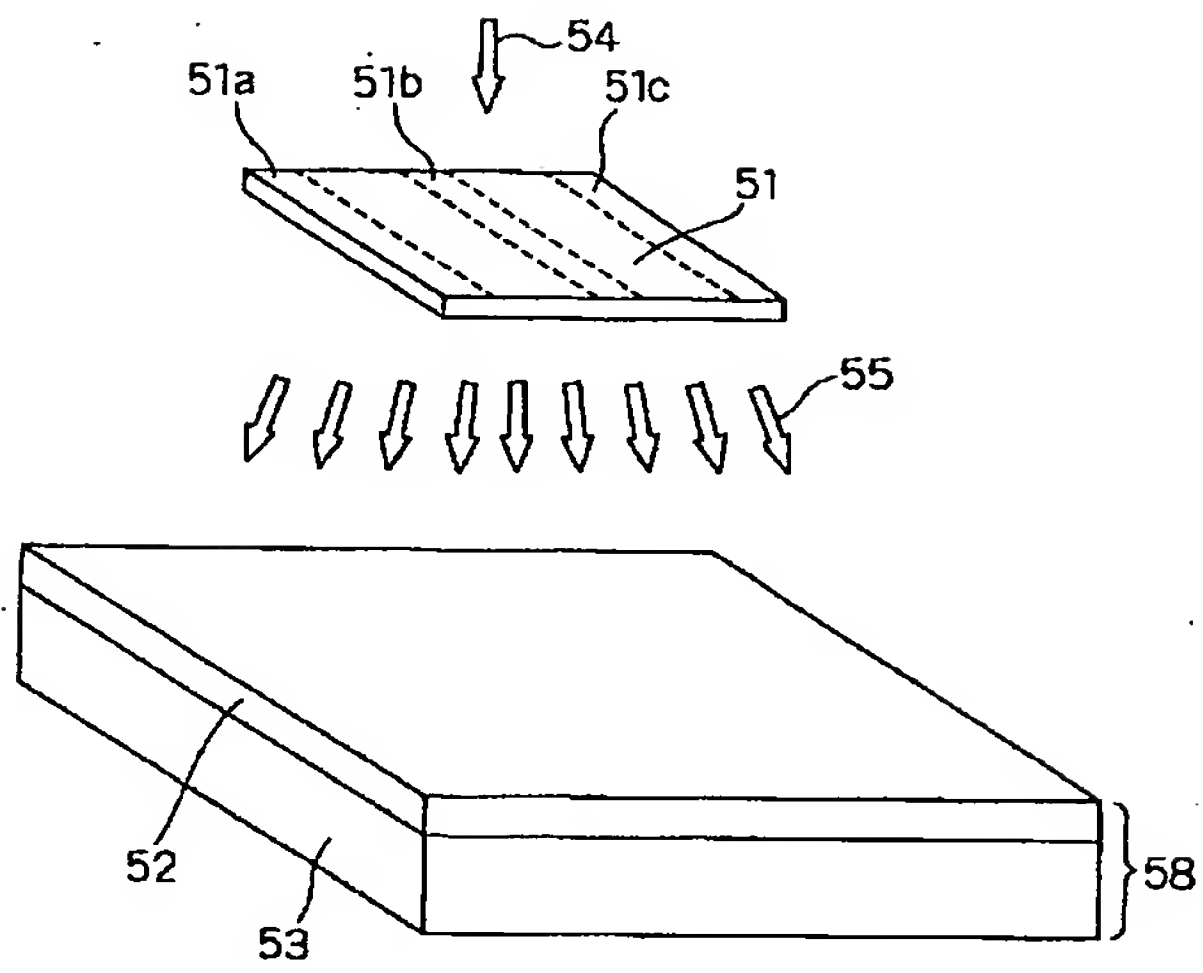


【図11】

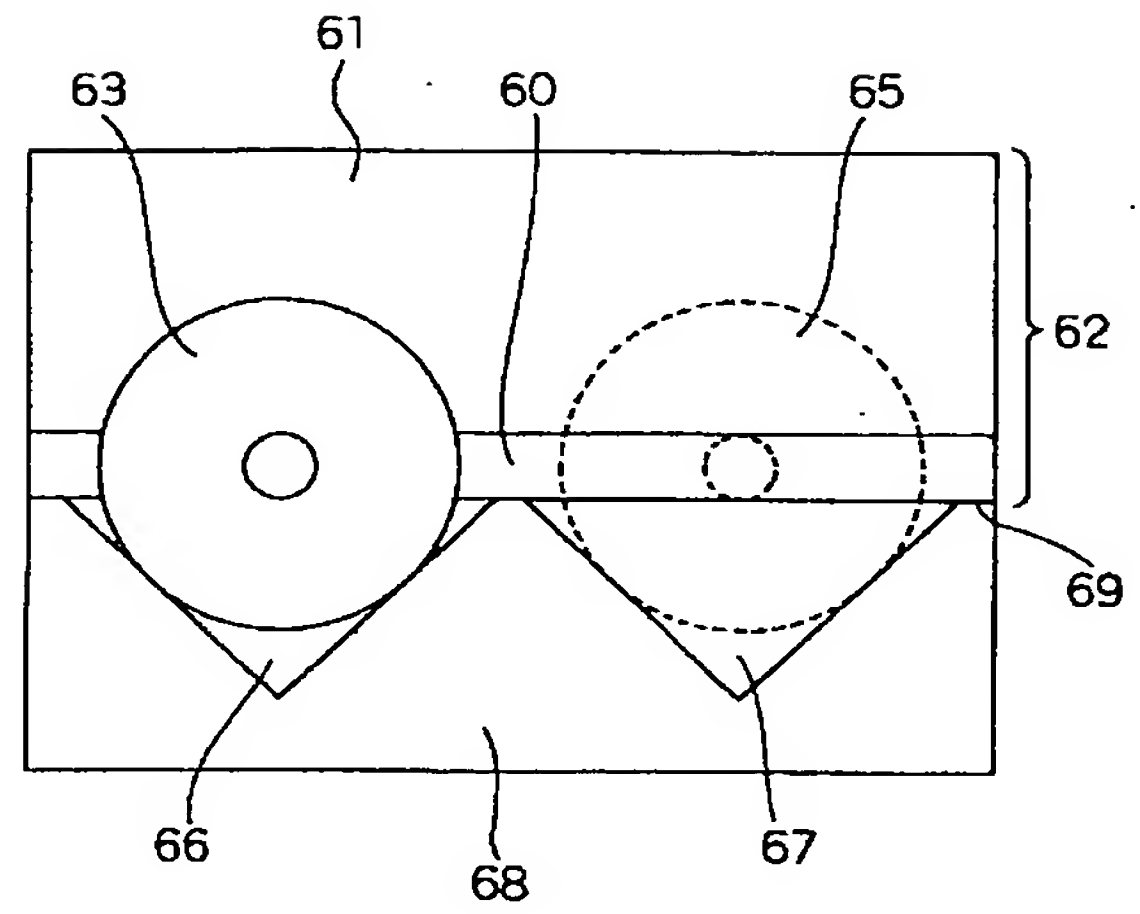




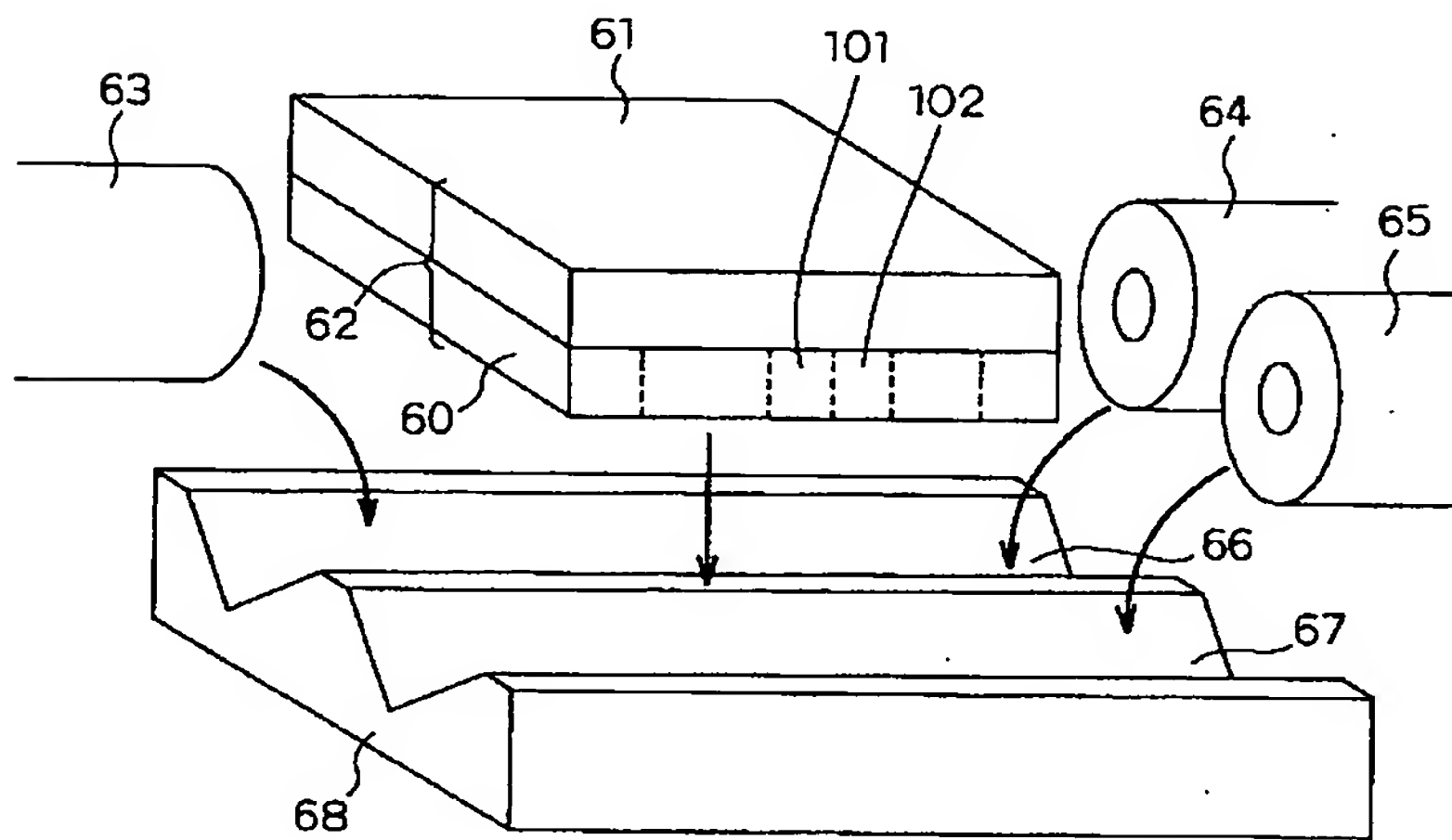
【図5】



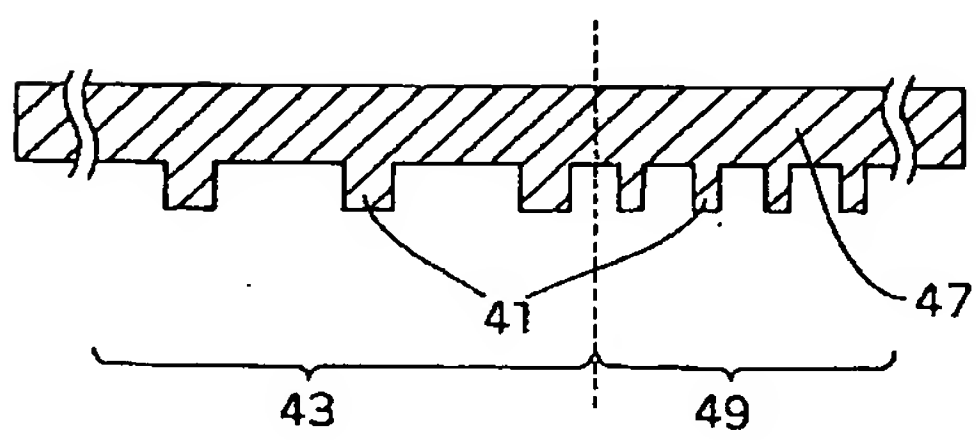
【図7】



【図6】

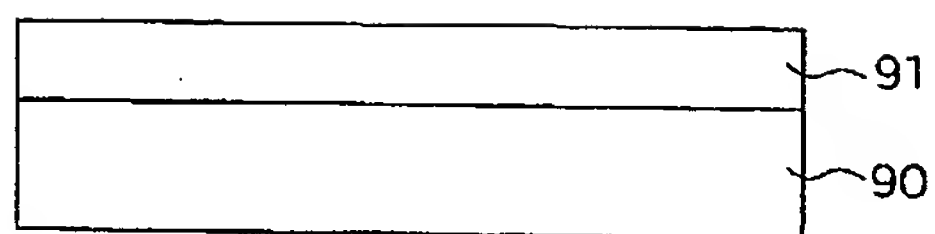


【図12】

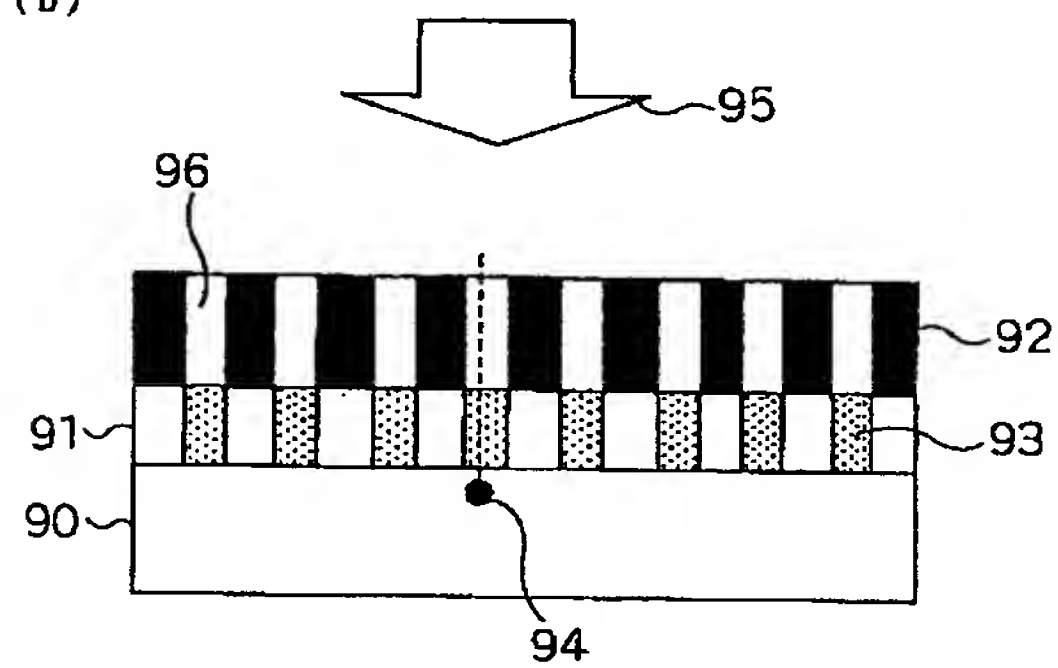


【図9】

(a)

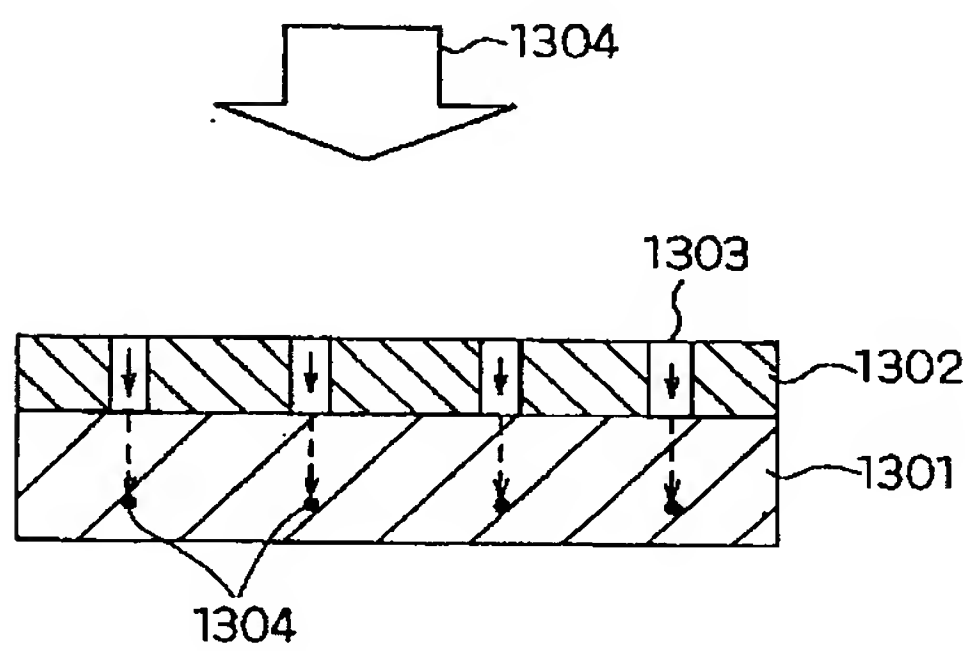


(b)

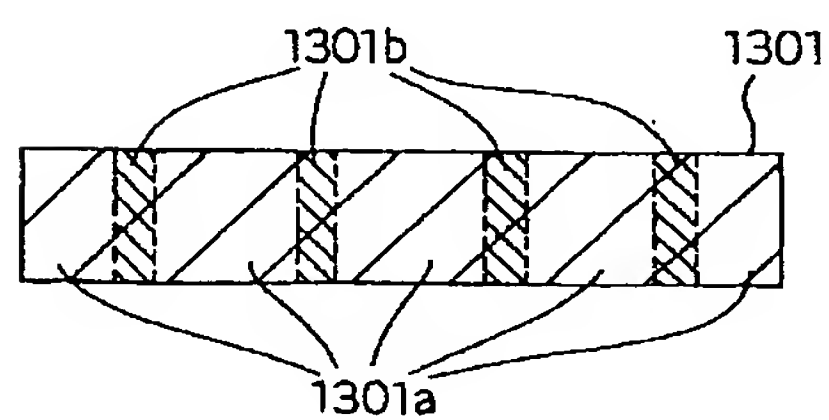


【図13】

(a)

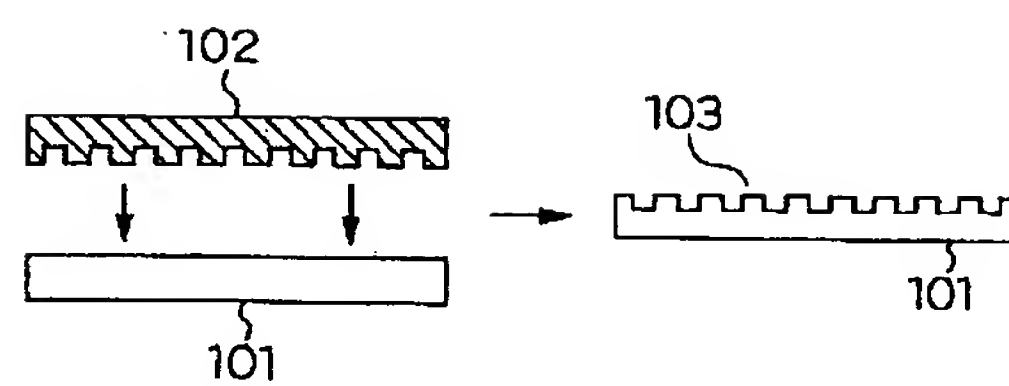


(b)

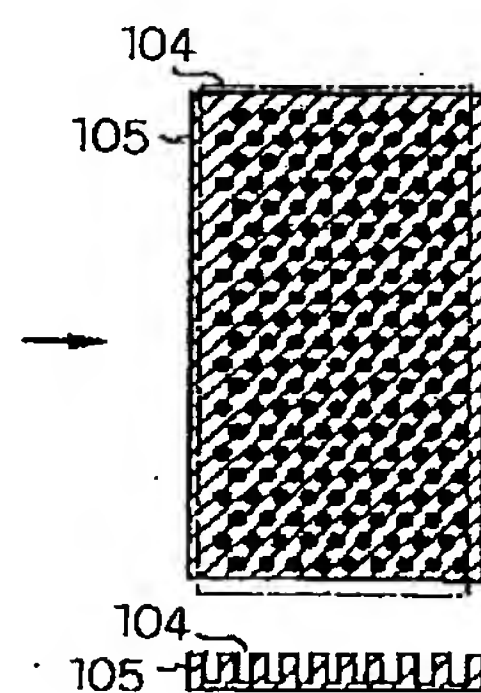


【図10】

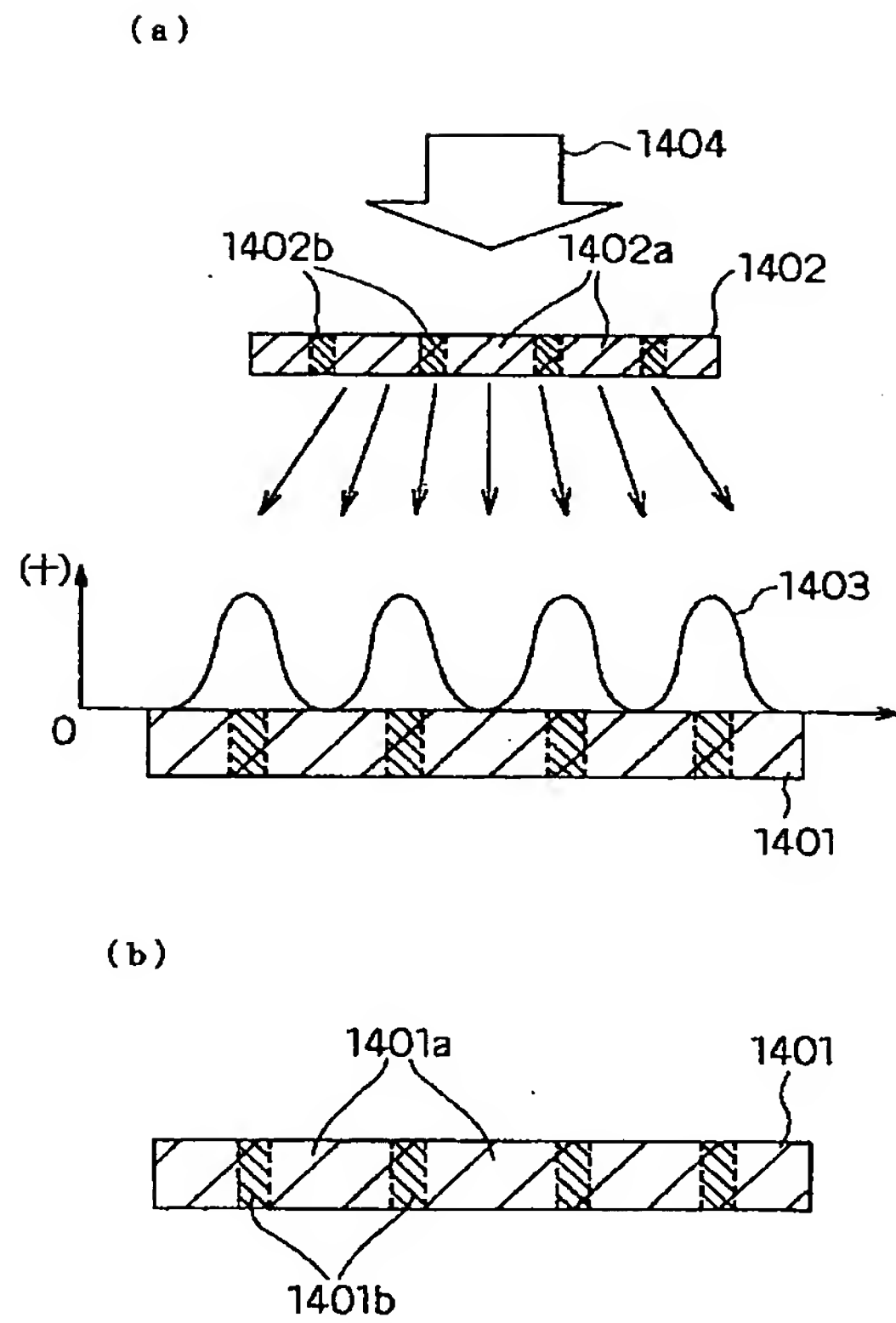
(a)



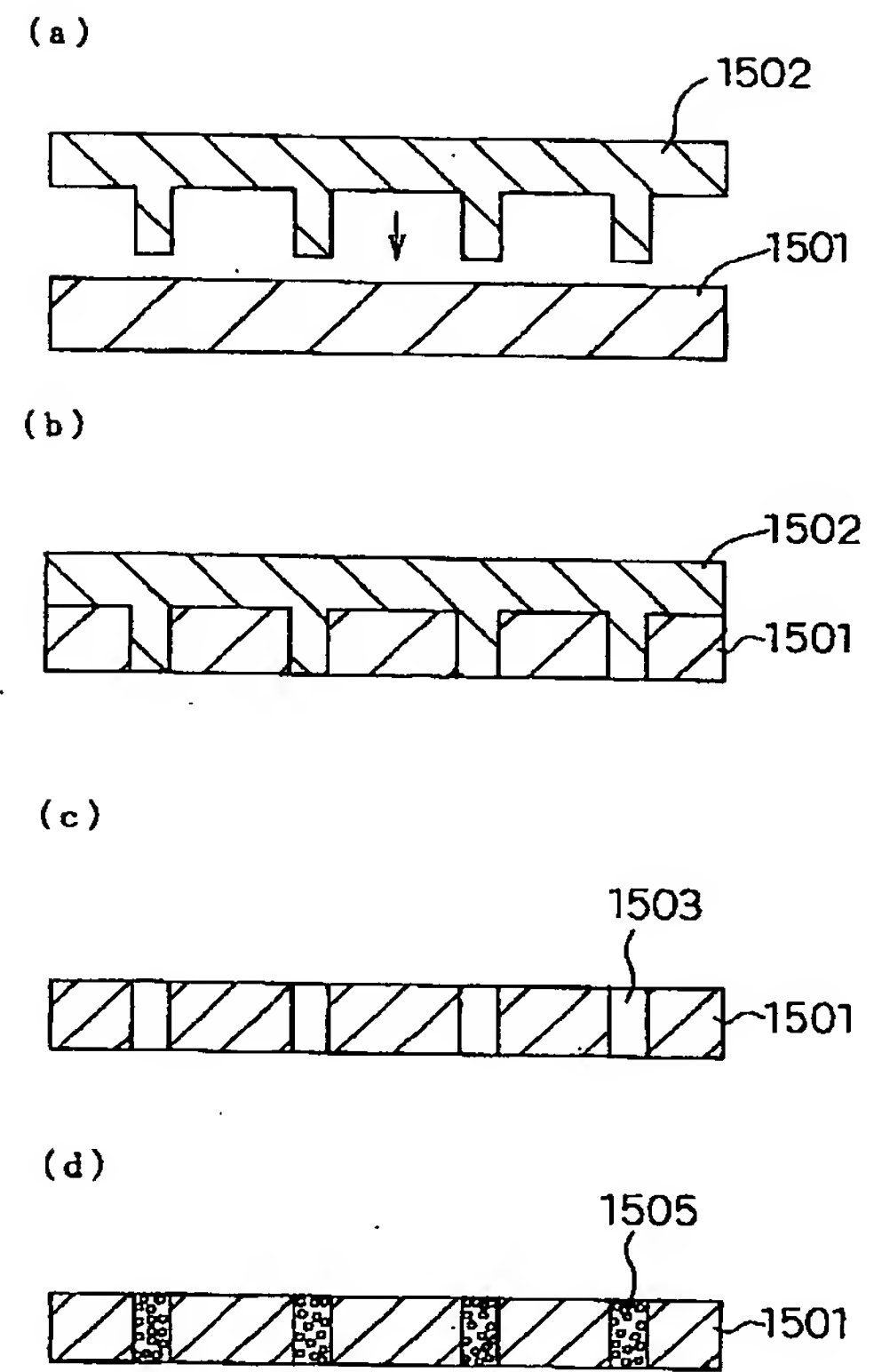
(b)



【図14】



【図15】



【図16】

